

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. DR.-ING. E. h. K. KORDINA · PROF. DR.-ING. F. S. ROSTÁSY

30-0052

Forschung zur wirtschaftlichen Gestaltung des Bauens

- Schallschutz in Schulbauten -

von

Dipl.-Phys. H. Schulze

Elt.-Ing. R. Palazy

1982

BIBLIOTHEK

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität BraunschweigBeethovenstraße 52
D-3300 Braunschweig

Die Untersuchungen wurden mit Hilfe von Forschungsmitteln des Landes
Niedersachsen gefördert: Bewilligungserlaß des Nieders. Ministers für
Wissenschaft und Kunst vom 11.02.1977, Az.: II/13 a - 42.8 (38/76)

Postsendungen:
Beethovenstraße 52, 3300 Braunschweig
Erfüllungsort und Gerichtsstand: Braunschweig

Fernsprecher: (05 31) 391 5431

Fernschreiber: 9 52 698 ibstb d
Telegrammadresse: MPA Braunschweig

Zur Vermeidung von Verzögerungen wird dringend gebeten, Zuschriften nur an das Institut zu richten, nicht aber an einzelne Mitarbeiter.

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Forschungsaufgabe	3
2. Schalltechnische Anforderungen bei Schulen	4
2.1 Anforderungen in den Schulbaurichtlinien des Landes Niedersachsen für die allgemeinbildenden Schulen	4
2.2 Anforderungen und Richtlinien in DIN-Normen	5
3. Schallübertragungswege und Berechnung des zwischen zwei Räumen zu erwartenden Bau-Schalldämm-Maßes	6
3.1 Wege der Schallübertragung in Massivbauten	7
3.2 Wege der Schallübertragung beim Geschoßausbau mit leichten Bauelementen	7
3.3 Berechnung des zwischen zwei Räumen zu erwartenden Schalldämm-Maßes	10
4. Messung der Schalldämmung zwischen Unterrichtsräumen bei drei verschiedenen leichten Wandbauarten	11
4.1 Feste Innenwände	12
4.2 Versetzbare Innenwände aus raumhohen Bauelementen	18
4.3 Bewegliche Innenwände	21
5. Zusammenfassende Darstellung der an Wänden zwischen Unter- richtsräumen in 9 Schulen ermittelten Ergebnisse	24
6. Schalltechnische Mängel in neuerrichteten Schulen	27
6.1 Mängelursachen in Schule I	27
6.2 Mängelursachen in Schule IX	29
7. Planungsfehler	30
8. Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen bei Berück- sichtigung der Hinweise und Empfehlungen in "Rationalisierung im Schulbau"	34
9. Vorschläge zur Herstellung eines zweckentsprechenden Schall- schutzes in Schulen	36
9.1 Anforderungen	36
9.2 Anwendung des rechnerischen Nachweises	38
9.3 Erfüllung der Anforderungen in der Praxis	38
10. Zusammenfassung und Folgerungen	41

1. Forschungsaufgabe

Ausgelöst durch pädagogische Forderungen nach einer variablen und flexiblen Nutzung des Raumangebots in Schulen mit der Möglichkeit zur Bildung von größeren zusammenhängenden Nutzungsflächen auf Geschoßebene erfolgt seit etwa 1970 der Ausbau der Geschosse vorwiegend unter Verwendung von leichten elementierten Bauteilen. Die Variabilität und Flexibilität wird durch Einbau von versetzbaren bzw. beweglichen Wänden hergestellt. Dies führte zu einer großen Verteuerung im Schulbau und zu verschiedenen bauphysikalischen Mängeln, wie z.B. einem mangelhaften Schallschutz. Weil jedoch die Elementierung die Möglichkeit zur werkmäßigen Herstellung von Bauteilen bietet, wurde diese Entwicklung sowohl von den Schulträgern als auch von der Industrie begrüßt. Zur Kostendämpfung und Behebung der bestehenden Mängel wurden Maßnahmen zur Standardisierung und Rationalisierung eingeleitet. Obwohl die im Jahre 1962 in DIN 4109 Blatt 2 [1] festgelegten schalltechnischen Mindestanforderungen nach Durchführung von umfangreichen Untersuchungen hinsichtlich des in Schulbauten notwendigen Schallschutzes [2] im Jahre 1976 erheblich herabgesetzt wurden, werden diese in neuerrichteten Schulen häufig auch dann nicht erfüllt, wenn Bauteile eingebaut werden, die bei Prüfung in Laboratorien diese Mindestanforderungen erfüllen. In [3] wurde bereits 1976 berichtet, daß bei Beibehaltung der seinerzeit untersuchten Bausysteme die verminderten Anforderungen im allgemeinen nicht erfüllbar sein werden..

Im Rahmen einer Bestandsaufnahme sind daher in neuerrichteten Schulen die bei verschiedenen baulichen Lösungen erzielten Schalldämmungen ermittelt und auf Mängel bei der Planung und Ausführung untersucht worden. Ferner wurden die in den Hinweisen und Empfehlungen für die Rationalisierung im Schulbau vom März 1977 [4] aufgeführten Konstruktionsmerkmale darauf überprüft, ob bei ihrer Anwendung die 1976 als Ergänzung zu DIN 4109 Blatt 2 bekanntgegebenen und bauaufsichtlich eingeführten Mindestanforderungen an den Schallschutz bei Schulen [5], die weitgehend in den Entwurf der DIN 4109 Teil 2 vom Februar 1979 [6] übernommen wurden, mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand auch praktisch erfüllt werden können.

2. Schalltechnische Anforderungen bei Schulen

2.1 Anforderungen in den Schulbaurichtlinien des Landes Niedersachsen für die allgemeinbildenden Schulen

Mit Wirkung vom 03.10.1969 sind die "Schulbaurichtlinien des Landes Niedersachsen für die allgemeinbildenden Schulen" [7] in Kraft getreten, die im wesentlichen eine Ergänzung der "Leitsätze" von DIN 18 031, Ausgabe Oktober 1963 [8] enthalten. Im Abschnitt 4.5 der Schulbaurichtlinien wird hinsichtlich des Schallschutzes folgendes ausgeführt:

"4.5 Schallschutz

Bereits bei der Wahl des Schulgeländes sowie bei der Gliederung der Schulanlage ist darauf zu achten, daß Geräuschbelästigungen von außen und zwischen den einzelnen Bereichen unterschiedlich geräuscherzeugender und geräuschempfindlicher Tätigkeiten in der Schule nicht auftreten können.

Für den Schallschutz innerhalb der Gebäude gelten die Richtlinien der DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau -.

Für Türen zwischen Verkehrs- und Unterrichtsräumen ist je nach dem Grad der Schalldämpfung im Verkehrsbereich ein mittleres Schalldämm-Maß von 25 bis 30 dB anzustreben.

Bei offenen Raumstrukturen und flexiblen Trennwänden sind die geforderten Werte für das Luftschallschutzmaß nicht zu erreichen. Deshalb wird für solche Fälle empfohlen, den Geräuschpegel innerhalb der einzelnen Unterrichtszonen durch geeignete schalldämpfende Maßnahmen zu senken, ohne jedoch die Nachhallzeiten außer acht zu lassen. Die Mitwirkung eines Akustikers ist hierbei erforderlich."

Raumakustische Hinweise enthält der Abschnitt 4.6:

"4.6 Raumakustik

In allen Unterrichtsräumen soll eine gute Wortverständlichkeit bzw. ein guter Klang gewährleistet sein. Dazu sind in voll ausgestatteten, aber nicht besetzten Räumen, abhängig vom Raumvolumen, folgende Nachhallzeiten einzuhalten:

Raumvolumen:	bis 250 m ³	bis 500 m ³	bis 750 m ³
Musikräume	1.2 - 1.3 s	1.3 - 1.4 s	1.4 - 1.5 s
Sonst. Unterrichtsräume	0.8 - 1.0 s	0.9 - 1.1 s	1.0 - 1.2 s

Diese Werte sinken im besetzten Raum um etwa 0.2 s.

In Unterrichtsräumen kann bei harten Böden die Nachhallzeit im allgemeinen durch Ausstattung der Deckenfläche zu 1/3 bis 2/5 mit geeigneten schallschluckenden Stoffen auf den günstigsten Wert verkürzt werden.

In Unterrichtsräumen, die für Arbeiten mit starker Geräusentwicklung bestimmt sind, und in Verkehrsräumen müssen besondere Schallschluckmaßnahmen getroffen werden, um den Schallpegel im Raum selbst zu senken.

Wird in einzelnen Räumen, wie zum Beispiel Musikräumen, eine besonders hohe raumakustische Qualität verlangt oder werden Raumformen und Materialien vorgesehen, über deren raumakustische Wirkung noch keine ausreichenden Erfahrungen vorliegen, so soll ein Fachberater hinzugezogen werden."

Die schalltechnischen Anforderungen an Lüftungstechnische Anlagen ergeben sich aus dem Hinweis auf DIN 1946 [9] in Abschnitt 4.3.

Da durch versetzbare und bewegliche Wände die in DIN 4109 Blatt 2 geforderten Schallschutzmaße ($LSM \geq +3$ dB bzw. $R'_w \geq 55$ dB) nicht zu erreichen waren, hat unter anderem der niedersächsische Kultusminister zu einer Anfrage nach den notwendigen Schallschutzmaßnahmen in Schulen, die unter Beachtung der Forderung nach Variabilität und Flexibilität errichtet werden, im Jahre 1972 ergänzend zum Abschnitt 4.5 der Schulbaurichtlinien mitgeteilt, daß zwischen Räumen mit vergleichbaren geräuscherzeugenden Tätigkeiten das Luftschallschutzmaß solcher Wände im eingebauten Zustand $LSM \geq -8$ dB ($R'_w \geq 44$ dB) betragen soll.

2.2 Anforderungen und Richtlinien in DIN-Normen

- a - DIN 4109 Blatt 1 bis 4, Ausgabe September 1962, und Blatt 5, Ausgabe April 1963 "Schallschutz im Hochbau" [1] .
- b - Ergänzung zu DIN 4109 Blatt 2: Schallschutz bei Schulen [5] , gültig seit 1976
- c - Richtlinien für bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen Außenlärm, Ergänzende Bestimmungen zu DIN 4109 "Schallschutz im Hochbau", Fassung September 1975 [10]

- d - DIN 1946 Blatt 5, Ausgabe August 1967, "Lüftungstechnische Anlagen" [9]
- e - DIN 18 031, Ausgabe Oktober 1963 "Hygiene im Schulbau" [8]
- f - DIN 18 032 Teil 1, Ausgabe Juli 1975, "Hallen für Turnen und Spiele" [11]
- g - DIN 18 041, Ausgabe Oktober 1968, "Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen" [12]

Zu a ist zu bemerken, daß Entwürfe von DIN 4109 Teil 1, 2, 3, 5 und 6 im Entwurf Februar 1979 veröffentlicht wurden und teilweise bereits als Vertragsgrundlage zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer vereinbart werden. Die angeführte Ergänzung zu b ist im Teil 2 "Luft- und Trittschalldämmung in Gebäuden; Anforderungen und Nachweise" und die zu c im Teil 6 "Bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen Außenlärm" des Entwurfs ohne wesentliche Änderungen enthalten. Weitere Anforderungen, die auch den Schulbau betreffen, befinden sich in Teil 5 "Schallschutz gegenüber Geräuschen aus haustechnischen Anlagen und Betrieben; Anforderungen und Nachweise". Teil 1 enthält "Einführung und Begriffe" und Teil 3 "Ausführungsbeispiele für Massivbauten". Ferner liegen die Norm-Vorlagen von Teil 7 [13] und Teil 8 [14] der DIN 4109 vom Februar 1980 mit dem Untertitel "Luft- und Trittschallschutz in Gebäuden, Entwurfsgrundlagen für Skelettbauten bzw. für Holzhäuser" vor, die Angaben über die rechnerische Abschätzung der zwischen zwei Räumen unter Berücksichtigung der Schall-Längsleitung zu erwartenden Schalldämmung und Berechnungsbeispiele enthalten.

Zu e (DIN 18 031) liegt eine Norm-Vorlage vom Mai 1980 vor, in der detaillierte Angaben zur Raum- und Bauakustik im Schulbau angegeben werden [15].

3. Schallübertragungswege und Berechnung des zwischen zwei Räumen zu erwartenden Bau-Schalldämm-Maßes

Das zwischen zwei aneinandergrenzenden Räumen erreichbare Bau-Schalldämm-Maß R' ist bekanntlich nicht nur von dem Schalldämm-Maß R_T des trennenden Bauteils, sondern auch maßgeblich von dem Schall-Längsdämm-Maß R_L der flankierenden Bauteile und von einer schalldichten Ausführung abhängig.

3.1 Wege der Schallübertragung in Massivbauten

In Massivbauten kann ein dichter Anschluß der trennenden an die flankierenden Bauteile in der Praxis ohne Schwierigkeiten erreicht werden, so daß nur eine Flankenübertragung vorliegt, die bei Berücksichtigung der Verzweigungs-dämmung rechnerisch weitgehend erfaßbar ist. Die Flankenübertragung wird in DIN 52 217 [16] erläutert.

In Bild 1 werden die verschiedenen Wege der Schallübertragung in Massivbauten dargestellt und nach DIN 52 217 gekennzeichnet.

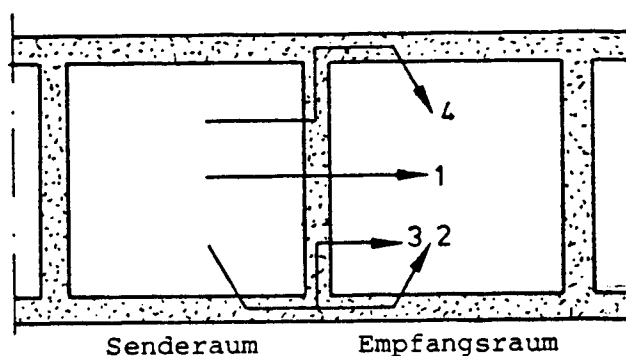


Bild 1: Schallübertragungswege in Massivbauten

Weg 1: Übertragung unmittelbar durch das trennende Bauteil D_a (Wand bzw. Decke)

Weg 2: Übertragung entlang der flankierenden Bauteile F_f (Wände bzw. Decken)

Weg 3: Übertragung von den flankierenden Bauteilen (Wand bzw. Decke) über das trennende Bauteil F_d

Weg 4: Übertragung von dem trennenden Bauteil auf die flankierenden Bauteile D_f

Die Prüfungen in der Praxis haben ergeben, daß beim Ausbau der Geschosse unter Verwendung von leichten Bauelementen neben der Flankenübertragung auch die Nebenwegübertragung über den Anschluß der Trennwände an die flankierenden Bauteile gleichermaßen durch Prüfung der Schalldämmung der Anschlüsse berücksichtigt werden muß.

3.2 Wege der Schallübertragung beim Geschoßausbau mit leichten Bauelementen

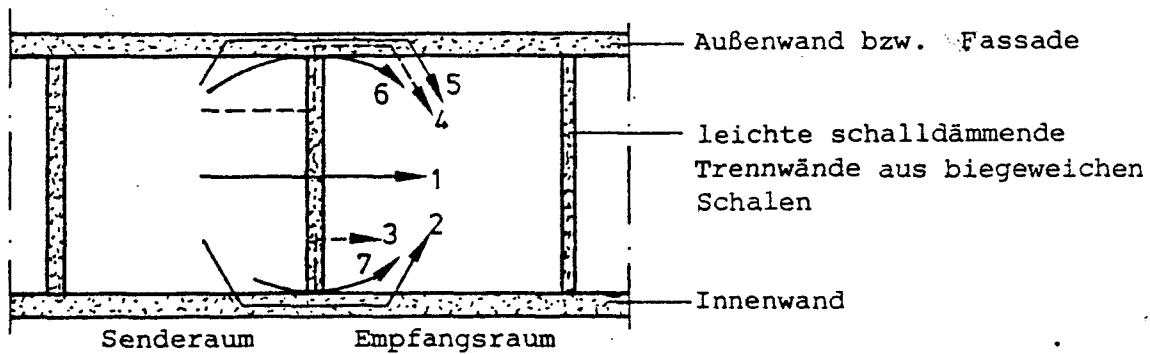
Bei Verwendung von leichten elementierten Bauteilen für den Geschoßausbau ist die erreichbare Luftschalldämmung zwischen zwei aneinandergrenzenden Räumen nicht nur von dem Schalldämm-Maß R_T der Trennwände und dem Schall-Längsdämm-

Maß R_L der flankierenden Bauteile, sondern auch maßgeblich von dem Anschluß der Trennwände an

- die Decke bzw. Unterdecke
- den Fußboden
- die Außenwand bzw. Fassade
- die Flurwand bzw. an eine Innenwand
- sowie von der Ausbildung der Lüftungs- und Kabelkanäle u.ä.

abhängig. Die einzelnen möglichen Übertragungswege werden in Bild 2 dargestellt.

a) Horizontalschnitt



b) Vertikalschnitt

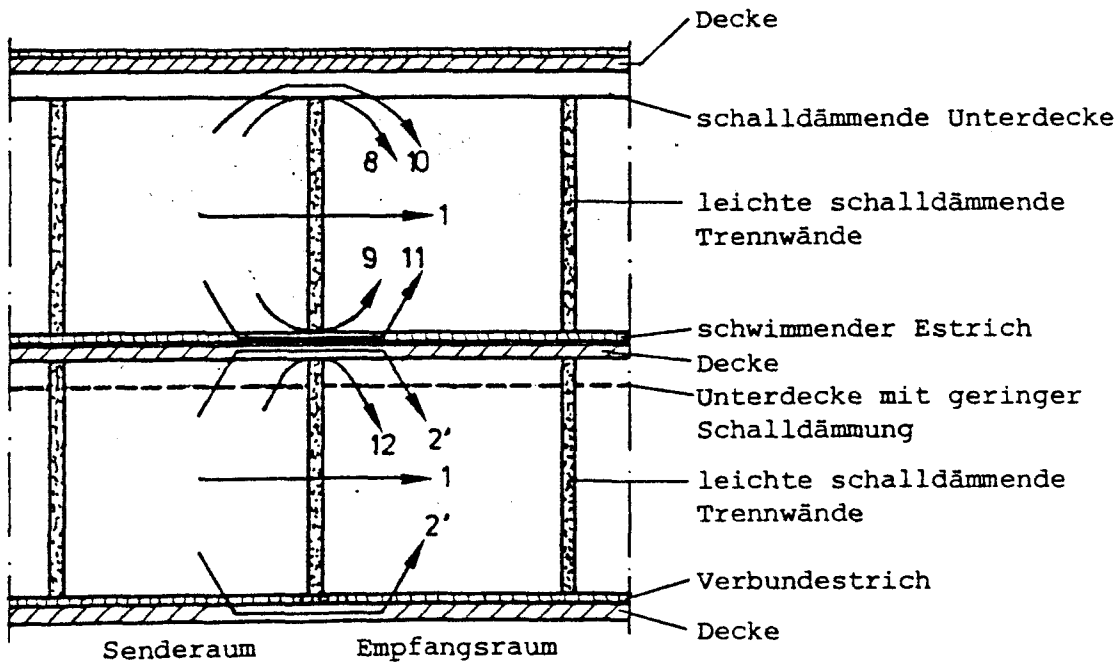


Bild 2: Übertragungswege des Luftschalls zwischen zwei aneinandergrenzenden Räumen beim Geschoßausbau mit leichten Bauelementen

- Weg 1: Übertragung unmittelbar durch die Trennwand
- Weg 2: Übertragung entlang der flankierenden Innenwand
- Weg 2': Der Weg 2' ist bei flankierenden Decken (s. Bild 2b) ohne Einfluß, wenn schalldämmende Unterdecken bzw. schwimmende Estriche eingebaut werden.
- Weg 3
und : Nur beim Einbau von massiven Wandschalen von Bedeutung.
Weg 4
- Weg 5: Übertragung entlang der flankierenden Außenwand
- Weg 6: Übertragung über den Anschluß an die Außenwand bzw. Fassade: Weitgehend von der Konstruktion und von der Wahl der Dichtungsmittel abhängig - in ausgeführten Bauten häufig undichte Ausführung
- Weg 7: Übertragung über den Anschluß an Innen-Längswand: s. Bemerkung zu Weg 6
- Weg 8: Übertragung über den Anschluß an eine Decke bzw. abgehängte Unterdecke: s. Bemerkung zu Weg 6, jedoch ist hier ein dichter Anschluß leichter zu erreichen
- Weg 9: Übertragung über den Anschluß an den Fußboden: s. Bemerkung zu Weg 6
- Weg 10: Übertragung entlang des Deckenhohlraums
- Weg 11: Übertragung über durchgehend eingebaute 4 bis 6 cm dicke schwimmende Estriche: es ist eine hohe Luftschall- und Körperschall-Längsleitung in der Estrichplatte vorhanden [17]. Bei Anordnung einer Trennfuge in der Estrichplatte entfällt dieser Übertragungsweg.
- Weg 12: Übertragung über den Anschluß an die Rohdeckenunterseite: Wenn eine nicht bzw. wenig schalldämmende Unterdecke eingebaut wird und deshalb die Wände bis zur Rohdeckenunterseite hochgeführt werden, muß der Anschluß der Trennwand dicht sein.

Zu Weg 11 ist zu bemerken, daß bei durchgehend eingebauten schwimmenden Estrichen neben einer hohen Luftschallübertragung auch eine hohe Tritt- bzw. Körperschallübertragung vorliegt [17].

3.3 Berechnung des zwischen zwei Räumen zu erwartenden Schalldämm-Maßes

Anhand der Wege 1, 2, 2', 5, 10 und 11 (s. Abschnitt 3.2, Bild 2) läßt sich das zwischen zwei nebeneinanderliegenden Räumen bei schalldichter Ausführung zu erwartende Bau-Schalldämm-Maß R'_w rechnerisch abschätzen [13, 14], und zwar ist

$$R'_w = -10 \lg \left(10^{-R_w/10} + \sum_{i=1}^n 10^{-R_{LiW}/10} \right) \text{ in dB} \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

R_w : bewertetes Schalldämm-Maß der Trennwand, wenn keine Nebenwegübertragung vorliegt

R'_{LiW} : bewertetes Schall-Längsdämm-Maß des i-ten flankierenden Bauteils am Bau

n: Anzahl der flankierenden Bauteile (im Regelfall $n = 4$)

Die R'_{LiW} -Werte können bei bekannten im Labor ermittelten Schall-Längsdämm-Maßen R_{LW} nach Gleichung (2) berechnet werden.

$$R'_{LiW} = R_{LiW} + 10 \lg \frac{S_{Tr}}{S_o} - 10 \lg \frac{l_i}{l_o} \text{ in dB} \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

R_{LiW} : bewertetes Schall-Längsdämm-Maß des i-ten flankierenden Bauteils

S_{Tr} : Fläche der Trennwand

S_o : Bezugsfläche in m^2 (für Wände $S_o = 10 m^2$)

l_i : gemeinsame Kantenlänge zwischen Trennwand und dem flankierenden Bauteil "i"

l_o : Bezugslänge (= 3 m)

Die rechnerische Abschätzung gilt für den Fall, daß sämtliche Verbindungs- bzw. Anschlußstellen (Wege 6, 7, 8, 9 und 12, s. Abschnitt 3.2, Bild 2) einwandfrei dicht ausgeführt werden. Ferner darf keine Nebenwegübertragung über Kabel- und Lüftungskanäle o.ä. vorliegen.

Zahlreiche frequenzabhängig in Terzschritten und mit bewerteten Schalldämm-Maßen durchgeführten Vergleichsberechnungen haben ergeben, daß es für die rechnerische Abschätzung des zwischen zwei Räumen zu erwartenden Bau-Schalldämm-Maßes R'_w ausreichend ist, wenn diese anhand von Einzahl-Angaben von R_w bzw. R_{Lw} durchgeführt werden.

In den Vorlagen zu DIN 4109 Teil 7 und Teil 8 [13, 14] wird auch ein vereinfachtes Verfahren angegeben, wonach z.B. bei den Mindestanforderungen an den Schallschutz zwischen Unterrichtsräumen in Schulen von $R'_w \geq 47$ dB und dem vorgesehenen Zuschlag von 6 dB sowohl für das bewertete Schalldämm-Maß R_w der Trennwände als auch für die bewerteten Schall-Längsdämm-Maße R_{Lw} der flankierenden Bauteile jeweils Werte von ≥ 53 dB zu fordern wären. Abgesehen von wenigen aufwendigen für Prüfungen im Labor speziell aufgebauten Konstruktionen wurden bei den heute allgemein angewendeten leichten Ausbausystemen keine angetroffen, die diese Anforderungen in ausgeführten Bauten erfüllen.

4. Messung der Schalldämmung zwischen Unterrichtsräumen bei drei verschiedenen leichten Wandbauarten

Es wurde eine große Anzahl von Schalldämm-Messungen an Bauteilen (Güteprüfungen) in neuerrichteten Schulen mit leichtem Geschoßausbau, die entsprechend der Empfehlung in dem Forderungskatalog zur Standardisierung im Schulbau in Skelettbauart als Tragkonstruktion errichtet wurden, nach DIN 52 210 Teil 1 und Teil 3 durchgeführt und hierfür die Einzahl-Angaben nach DIN 52 210 Teil 4 [18] ermittelt.

Gemäß den Hinweisen und Empfehlungen für die Rationalisierung im Schulbau werden aufgrund ihrer konstruktiven Eigenschaften drei Arten von leichten statisch nicht tragenden Innenwänden unterschieden, und zwar

- feste Innenwände (nur einmal verwendbare Wände)
- versetzbare Innenwände (errichtet aus werkmäßig hergestellten raumhohen Bauelementen)
- bewegliche Innenwände (Schiebe- oder Faltwände)

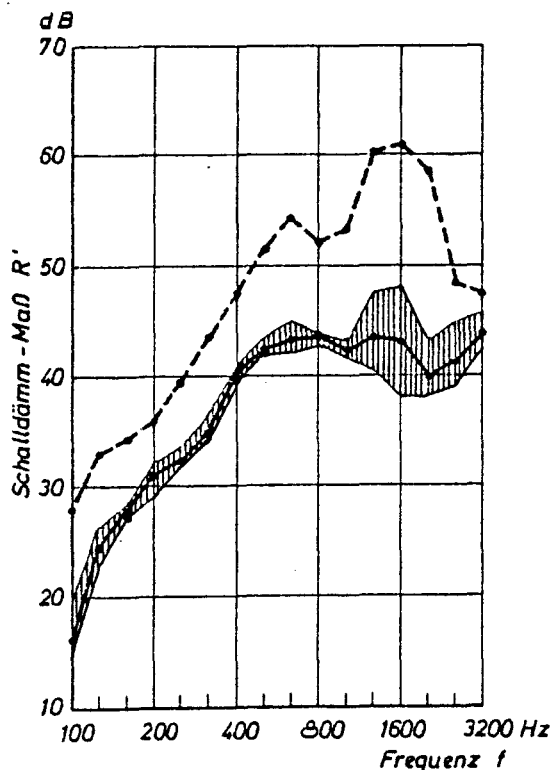
Diese drei Arten wurden schalltechnisch untersucht.

4.1 Feste Montage-Innenwände

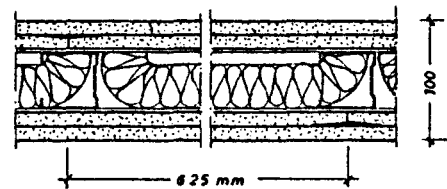
Es wird hier über Untersuchungen in 4 Schulen berichtet, die für sämtliche bisher in vergangenen Jahren durchgeführten schalltechnischen Güteprüfungen repräsentativ sind.

Schule I

In Bild 3 sind der Mittelwert aus 4 zwischen aneinandergrenzenden Unterrichtsräumen ermittelten Schalldämm-Maßen R' (bezogen jeweils auf die Trennwandfläche) und der Streubereich sowie das im Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung nach DIN 52 210 für die Trennwandkonstruktion ermittelte Schalldämm-Maß R' dargestellt. Außerdem sind die bei Berücksichtigung der Flankenübertragung zwischen den Unterrichtsräumen erreichbaren bewerteten Schalldämm-Maße R'_w angegeben.



Wandaufbau zwischen den Unterrichtsräumen



100 mm Metall-Einfachständerwand mit beidseitiger Beplankung aus 2 x 12,5 mm Gipskarton-Bauplatten mit 40 mm Mineralfaserfilz im Hohlraum, Flächengewicht ca. 49 kg/m²

— Mittelwert: $R'_w = 41$ dB

Anzahl der Messungen zwischen Unterrichtsräumen: 4

▨ Streubereich der ermittelten Schalldämm-Maße R'

--- Schalldämm-Maß R' der Wandkonstruktion bei Prüfung im Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung: $R'_w = 50$ dB

Erreichbares Schalldämm-Maß zwischen den Unterrichtsräumen bei Berücksichtigung der Flankenübertragung: $R'_w = 46$ dB (berechnet nach Abschnitt 3, Gleichung (1) und (2))

Bild 3: Schalldämm-Maß R' zwischen angrenzenden Unterrichtsräumen in Schule I

(Gefordert: $R'_w \geq 44$ dB)

Aus Bild 3 geht hervor, daß bei den 4 "Wandmessungen" bis 1000 Hz etwa die gleiche Schalldämmung ermittelt worden ist; über 1000 Hz sind die Abweichungen der R' -Werte erheblich. Die zugehörigen bewerteten Schalldämm-Maße R'_w betrugen bei zwei Wänden je 42 dB, bei einer Wand 41 dB und bei einer Wand 40 dB.

Nach dem in Abschnitt 3, Gleichung (1), angegebenen Berechnungsverfahren war folgendes Schalldämm-Maß R' zwischen den aneinandergrenzenden Unterrichts-räumen zu erwarten.

$$R'_w = -10 \lg \left(10^{\frac{-R_{T1w}}{10}} + 10^{\frac{-R_{L2w}}{10}} + 10^{\frac{-R_{L5w}}{10}} + 10^{\frac{-R_{L2'}}{10}} + 10^{\frac{-R_{L10w}}{10}} \right) \quad \text{in dB} \quad (3)$$

Dabei wird eine schalldichte Bauausführung vorausgesetzt, so daß die Berücksichtigung der Wege 6, 7, 8 und 9 (s. Bild 2) entfällt.

Für die Berechnung der Übertragung über die Trennwand sowie die vier flankierenden Bauteile werden folgende Schalldämm-Maße zugrunde gelegt (Bezeichnung der Übertragungswege nach Bild 2 in Abschnitt 3).

R_{T1w} : Schalldämm-Maß der Trennwand $R'_w = 50$ dB, ermittelt im Prüfstand mit bauähnlichen Nebenwegen

R_{L2w} : Schall-Längsdämm-Maß der flankierenden Flurwand (2 x 12,5 mm Gipskartonplatten, durchlaufend), $R_{Lw} = 56$ dB, entnommen aus 13, Tabelle 14, Zeile 1.2

R_{L5w} : Schall-Längsdämm-Maß der flankierenden Außenwand $R_{Lw} = 55$ dB (geschätzt)

$R_{L2'w}$: Schall-Längsdämm-Maß der flankierenden Decke mit Verbundestrich (Flächengewicht ca. 600 kg/m²) $R_{Lw} = 60$ dB

R_{L10w} : Schall-Längsdämm-Maß der flankierenden Unterdecke (keine Abschottung über der Trennwand) $R_{Lw} = 51$ dB, ermittelt im Prüfstand

Bei Berücksichtigung des für R'_{LiW} in Abschnitt 3, Gleichung (2) angegebenen Berechnungsverfahrens, werden in die Gleichung (3) folgende Werte eingesetzt.

$$R'_w = - 10 \lg \left(10^{-50/10} + 10^{-60/10} + 10^{-59/10} + 10^{-59/10} + 10^{-50/10} \right)$$

$$R'_w = - 10 \lg \left[10^{-6} \cdot (10,00 + 1,00 + 1,26 + 1,26 + 10,00) \right]$$

a - Berechnetes $R'_w = 46,3 \approx 46$ dB

b - Gefordertes $R'_w = 44$ dB (bei der Planung wurde ein LSM = -8 dB, entsprechend einem $R'_w = 44$ dB, festgelegt)

c - Im Bau gemessen: $R'_w = 41$ dB (Mittel aus 4 Messungen (s. Bild 3))

Anhand dieser R'_w -Werte kann zunächst folgendes gesagt werden:

Zu a - Durch die Flankenübertragung (Wege 2, 5, 2' und 10, s. Bild 2) wird das zwischen den Räumen bei der Trennwandkonstruktion erreichbare R'_w von 50 dB (Weg 1) auf 46 dB begrenzt und somit um 4 dB vermindert.

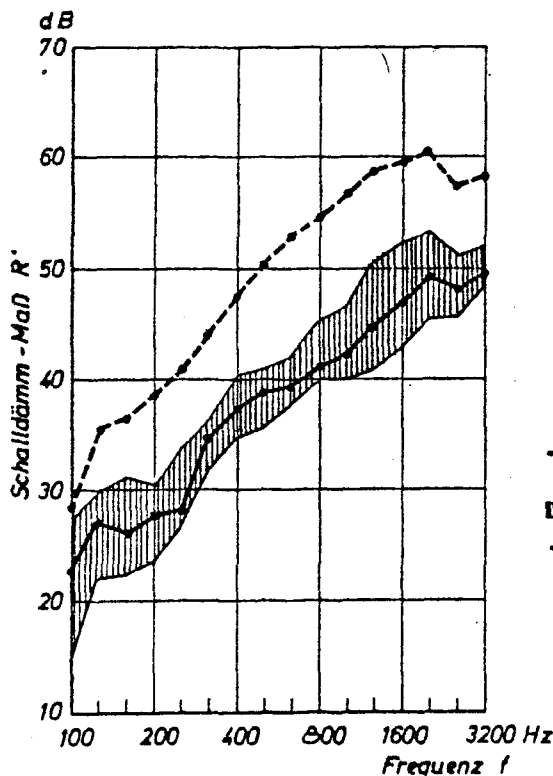
Zu b - Das im Rahmen einer schalltechnischen Beratung im Jahre 1974 nach den damaligen Richtlinien [7] nach Fertigstellung geforderte $R'_w \geq 44$ dB (LSM ≥ -8 dB) erfolgte also unter Berücksichtigung der Flankenübertragung und eines Sicherheitszuschlags vom 2 dB; trotzdem wurden diese Anforderungen nicht erfüllt.

Zu c - Das unter Berücksichtigung der Flankenübertragung berechnete $R'_w = 46$ dB wird durch undichten Anschluß der Trennwände an die flankierenden Bauteile (Wege 6, 7, 8 und 9, s. Bild 2) bzw. durch andere Einflüsse auf $R'_w = 41$ dB, also um weitere 5 dB, herabgesetzt.

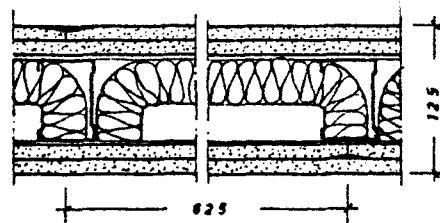
Dies ist kein Extremfall, sondern - wie mindestens in den letzten 10 Jahren immer wieder festgestellt - ein verhältnismäßig günstiger Untersuchungsfall aus der Praxis. Deshalb ist eine genauere Festlegung der Ausführung der Trennwandanschlüsse an die Begrenzungsflächen mindestens genau so wichtig wie die Berücksichtigung der Flankenübertragung.

Schule II

Bei der Planung und Ausschreibung wurde ein Schalldämm-Maß zwischen den Unterrichtsräumen im fertiggestellten Zustand von $R'_w \geq 47$ dB (LSM -5 dB) gemäß den in der Ergänzung von DIN 4109 Blatt 2 vom 23.04.1976 [5] festgelegten Mindestanforderungen angestrebt. In dieser Schule wurden an sieben Stellen Schalldämmungsmessungen durchgeführt und Schalldämm-Maße R'_w zwischen 39 dB und 44 dB ermittelt. Der Mittelwert und der Streubereich sind aus Bild 4 ersichtlich.



Wandaufbau zwischen den Unterrichtsräumen



125 mm Metall-Einfachständerwand mit doppelter Beplankung aus 2 x 12,5 mm Gipskarton-Bauplatten mit 50 mm halbsteifen² Mineralfaserplatten im Hohlraum, Flächengewicht 50 kg/m²

- Mittelwert: $R'_w = 41$ dB
Anzahl der Messungen zwischen Unterrichtsräumen: 7
- ▨ Streubereich der ermittelten Schalldämm-Maße R'
- - - Schalldämm-Maß R' der Wandkonstruktion bei Prüfung im Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung: $R'_w = 52$ dB

Laut Baubeschreibung sollten die Wände auf der Rohdecke aufgestellt, bis zur Unterkante Stahlbetondecke hochgeführt und dort mit gleitendem Deckenanschluß versehen werden, so daß eine Deckendurchbiegung bis zu 2 cm aufgenommen werden kann. Der seitliche Anschluß erfolgte im Bereich der Außenfassade an Fenster und Fensterbrüstung und im Flurwandbereich an gleichartige Flurwand mit doppelter Beplankung aus 2 x 12,5 mm Gipskarton-Bauplatten.

Erreichbares Schalldämm-Maß zwischen den Unterrichtsräumen bei der Einbausituation bzw. bei der geschätzten Flankenübertragung: $R'_w \geq 50$ dB

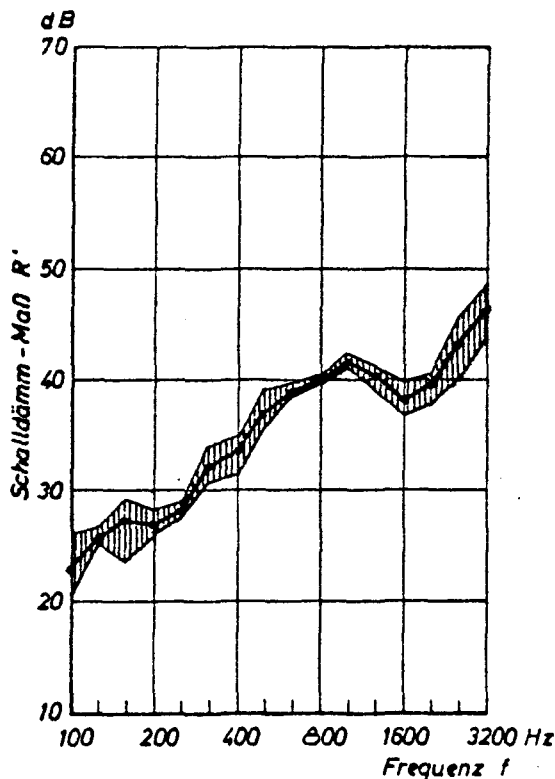
Bild 4: Schalldämm-Maß R' zwischen angrenzenden Unterrichtsräumen in Schule II

(Gefordert: $R'_w \geq 47$ dB)

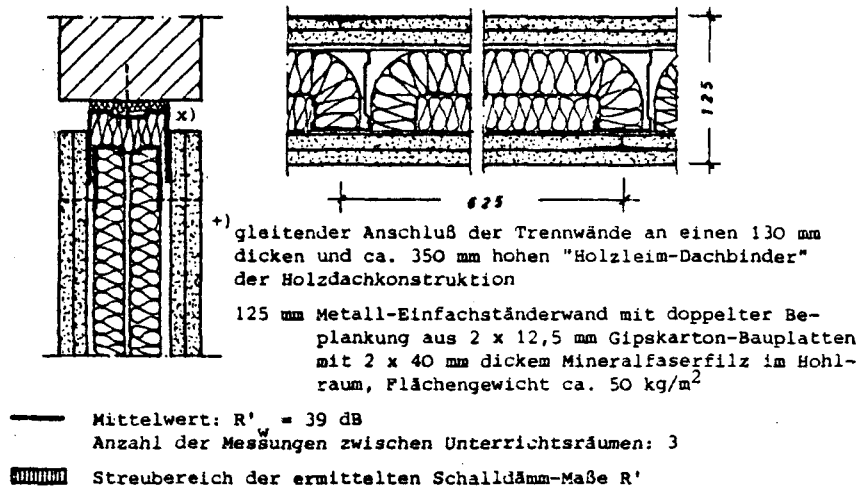
Bei der Planung mußte angenommen werden, daß bei sachgemäßer Bauausführung mit schalldichtem Anschluß der Trennwände an die Begrenzungsflächen bzw. flankierenden Bauteile ein Schalldämm-Maß von $R'_w \geq 50$ dB, mindestens jedoch ein $R'_w \geq 47$ dB erreicht wird, zumal der Anschluß der Trennwand im Fußbodenbereich durch schwimmenden Estrich und der "gleitende Anschluß" an die Decke durch eine abgehängte Unterdecke zusätzlich abgedichtet werden konnten.

Schule III

Hier sind drei Schalldämmungsmessungen zwischen aneinandergrenzenden Räumen durchgeführt und Schalldämm-Maße R'_w von 2 x 39 dB und 1 x 38 dB ermittelt worden. Der Mittelwert und der Streubereich sind aus Bild 5 ersichtlich.



Wandaufbau zwischen den Unterrichtsräumen



Vom Anbieter wurde für die Trennwandkonstruktion ein $R'_w = 50$ dB angegeben.

Die Wände wurden auf einem 90 mm dicken Verbundestrich, verlegt auf einer Stahlbetonplatten-Balkendecke, aufgestellt. Der seitliche Anschluß erfolgte an eine leichte Fensterwandkonstruktion und an eine 240 mm dicke massive Flurwand (Sichtmauerwerk).

Erreichbares Schalldämm-Maß zwischen den Unterrichtsräumen bei der Einbausituation bzw. bei der geschätzten Flankenübertragung: R'_w ca. 47 dB

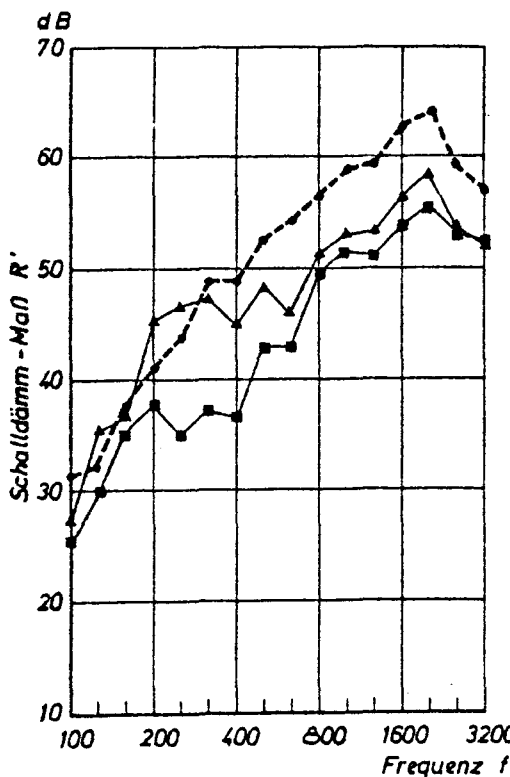
Bild 5: Schalldämm-Maß R' zwischen angrenzenden Unterrichtsräumen in Schule III
(Gefordert: $R'_w \geq 47$ dB)

Die eingebaute Wandkonstruktion, die der in Schule II untersuchten entspricht, ist mit einem "gleitenden Anschluß" an den "Holzleim-Dachbinder" ausgeführt worden. Da unter den schrägen Holzdach-Decken keine Unterdecken eingebaut wurden, war sowohl durch den gleitenden Anschluß als auch durch den Holzleim-Dachbinder eine Minderung der Schalldämmung - allerdings nicht in diesem Ausmaß - zu erwarten.

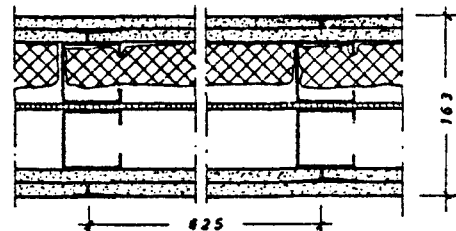
Schule IV

In dieser Schule konnten zwei Metall-Doppelständerwände untersucht werden, die - wie aus Bild 6 zu ersehen ist - bei Prüfung im Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung ein $R'_w = 54$ dB aufweisen.

Die Einbausituation war sehr günstig, die Flankenübertragung geringer als bei Prüfung im Prüfstand. Trotzdem wurde die im Prüfstand gemessene Schalldämmung nicht erreicht. Nach Abnehmen eines Teils der Akustik-Unterdecke aus Metall-Lamellen konnte festgestellt werden, daß in den ca. 50 cm hohen Decken-Betonträgern über den Trennwänden Regeldurchbrüche vorhanden waren, die teilweise nicht ausreichend dicht verschlossen wurden. Die Ergebnisse zeigt das Bild 6.



Wandaufbau zwischen den Unterrichtsräumen



163 mm Metall-Doppelständerwand mit beidseitig doppelter Beplankung aus 2 x 12,5 mm Gipskarton-Bauplatten mit 40 mm Mineralfaserfilz im Hohlraum, Flächengewicht ca. 51 kg/m²

■ Wand zwischen den Unterrichtsräumen 124/125: $R'_w = 46$ dB

▲ Wand zwischen den Unterrichtsräumen 233/234: $R'_w = 51$ dB

--- Schalldämm-Maß R' der Wandkonstruktion bei Prüfung im Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung: $R'_w = 54$ dB

Die Wände wurden auf der Rohdecke aufgestellt und bis zur Unterkante Decken-Betonträger hochgeführt. Der seitliche Anschluß der Wände erfolgte im Bereich der Außenfassade jeweils an eine Betonstütze und im Flurwandbereich in doppelschaliger (getrennte Stiele) Ausführung.

Erreichbares Schalldämm-Maß zwischen den Unterrichtsräumen bei der Einbausituation bzw. bei der geschätzten Flankenübertragung:

$$R'_w \geq 54 \text{ dB}$$

Bild 6: Schalldämm-Maß R' zwischen angrenzenden Unterrichtsräumen in Schule IV
(Gefordert: $R'_w \geq 47$ dB)

Das zwischen den Räumen 233/234 ermittelte Schalldämm-Maß ist das günstigste Ergebnis, das im angetroffenen Zustand in einer Schule mit leichtem Geschoßausbau zwischen Unterrichtsräumen in den letzten 10 Jahren in ca. 20 untersuchten Schulen dieser Art ermittelt worden ist.

4.2 Versetzbare Innenwände aus raumhohen Bauelementen

In 4 werden die Konstruktionsmerkmale der versetzbaren Wände im wesentlichen wie folgt beschrieben:

Versetzbare Innenwände sind nichttragende Wände, die aufgrund ihres geringen Gewichts bei Bedarf demontiert und an anderer Stelle wieder aufgebaut werden können. Zusammengestellt werden sie in der Regel aus einzelnen untereinander austauschbaren raumhohen Elementen, die zwischen dem Fußbodenoberbelag und der abgehängten Decke eingebaut werden.

Schule V

In Bild 7 ist eine derartige Konstruktion dargestellt, an der bei Prüfung im Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung ein $R'_w = 50$ dB ermittelt worden ist. Der Einbau der Wand entspricht den Hinweisen und Empfehlungen in [4].

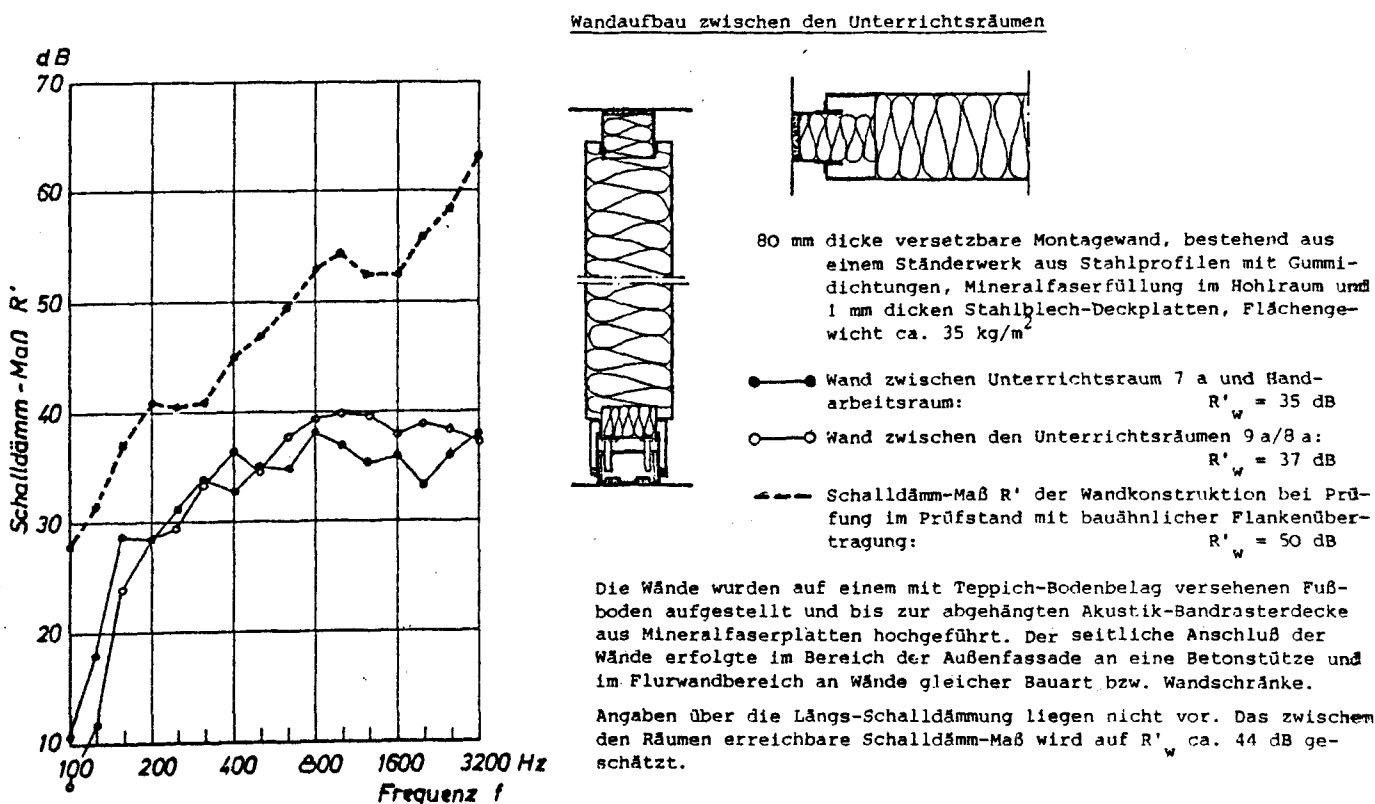


Bild 7: Schalldämm-Maß R' zwischen angrenzenden Unterrichtsräumen in Schule V
(Gefordert: $R'_w \geq 47$ dB)

Die in der Schule im eingebauten Zustand ermittelten Prüfergebnisse von $R'_w = 35$ dB und $R'_w = 37$ dB bestätigen wieder, daß bei den Systemprüfungen außer der Flankenübertragung auch die Nebenwegbedingungen erfaßt werden müssen.

Schule VI

Bild 8 zeigt zwei weitere in einer Schule an einer ähnlichen Wandkonstruktion ermittelten Prüfergebnisse. Obwohl an dieser Wand bei Prüfung im Prüfstand ein geringeres Schalldämm-Maß ermittelt wurde ($R'_w = 46$ dB) als an der Konstruktion in Schule V ($R'_w = 50$ dB), wurde hier im angetroffenen Zustand etwa die gleiche Schalldämmung gemessen. Vermutlich wird in Schule V die Schalldämmung zwischen den Räumen u.a. erheblich durch eine Übertragung über den Teppich-Bodenbelag vermindert.

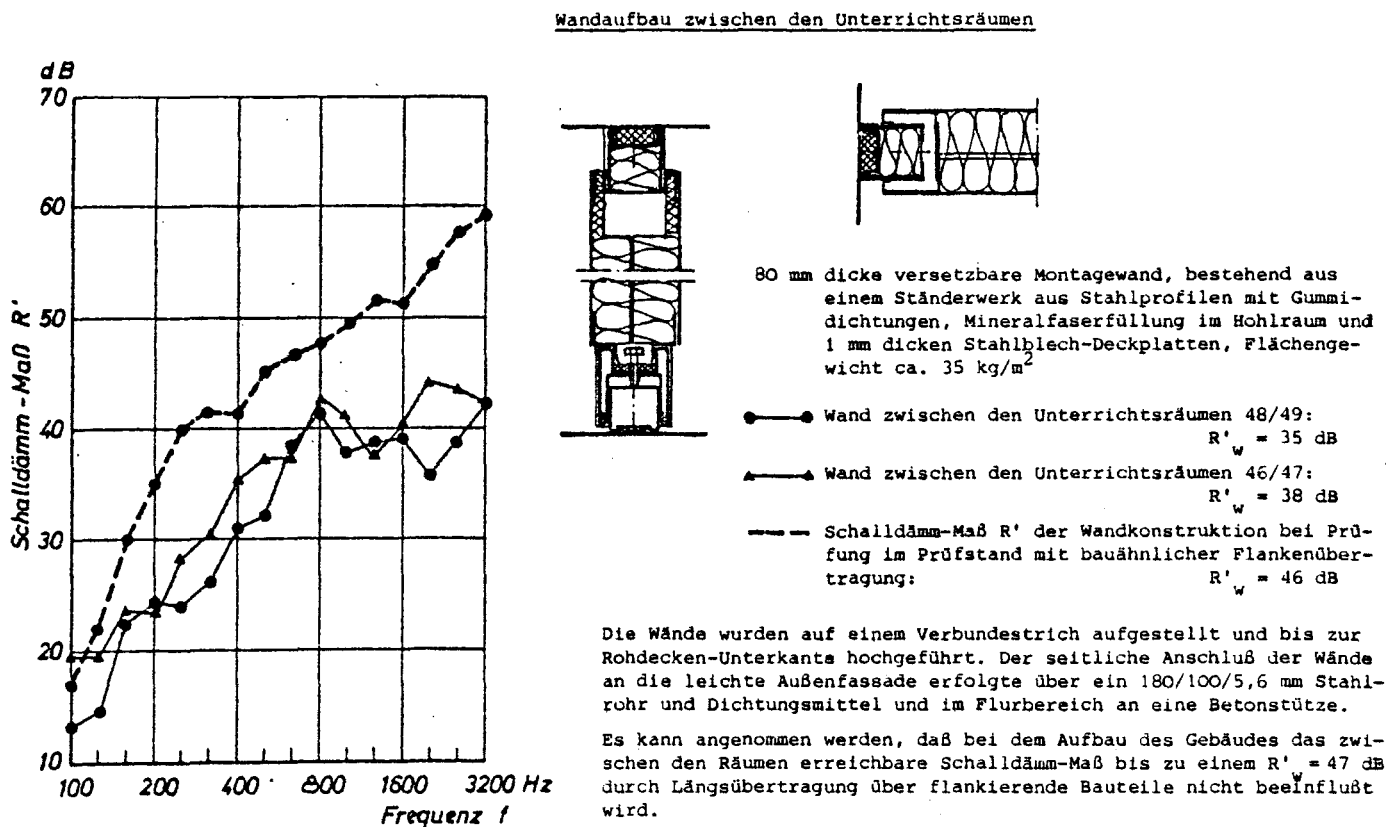


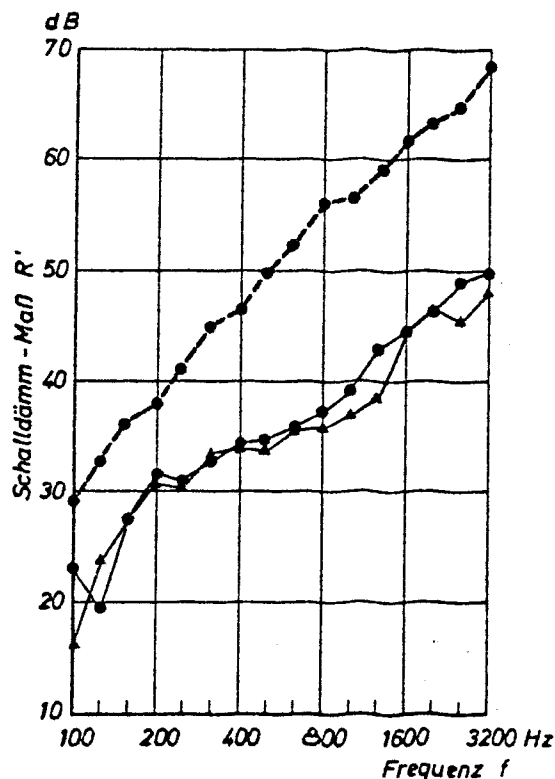
Bild 8: Schalldämm-Maß R' zwischen angrenzenden Unterrichtsräumen in Schule VI
(Gefordert: $R'_w \geq 44$ dB)

Bei dieser Einbausituation müßte ein dichter Anschluß ebenso möglich sein wie bei Prüfung im Prüfstand. Da eine Nebenwegübertragung über Teppich-Bodenbelag

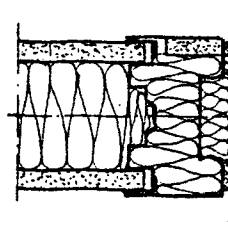
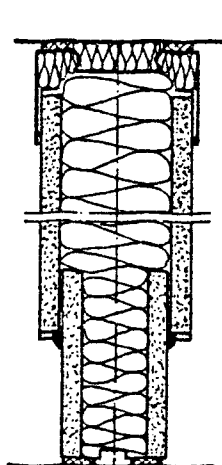
und/oder über den Hohlraum einer Unterdecke hier nicht in Frage kommen, kann normalerweise das Prüfstandergebnis auch hier erwartet werden.

Schule VII

Hier ist ebenfalls der große Unterschied zwischen den im Prüfstand und den im Einbauzustand ermittelten Prüfergebnissen vorhanden (Bild 9).



Wandaufbau zwischen den Unterrichtsräumen



92 mm dicke versetzbare Montagewand, bestehend aus einem Ständerwerk aus Stahlprofilen, Mineralfaserfüllung im Hohlraum und Deckplatten aus ca. 0,9 mm dickem Stahlblech auf 12,5 mm dicken Gipskarton-Bauplatten, Flächengewicht ca. 40 kg/m²

- ▲—▲ Wand zwischen den Unterrichtsräumen 7 a/7 d: $R'_w = 38 \text{ dB}$
- Wand zwischen Kursraum 3 und Unterrichtsräum 7 d: $R'_w = 39 \text{ dB}$
- Schalldämm-Maß R' der Wandkonstruktion bei Prüfung im Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung: $R'_w = 52 \text{ dB}$

Die Wände wurden auf einem textilen Bodenbelag aufgestellt und bis zur abgehängten Akustik-Bandrasterdecke hochgeführt. Der seitliche Anschluß der Wände erfolgte im Bereich der Außenfassade an eine Betonstütze und im Flurwandbereich an eine 24 cm dicke Massivwand.

Angaben über die Längs-Schalldämmung liegen nicht vor. Das zwischen den Räumen erreichbare Schalldämm-Maß wird bei dieser Einbausituation auf ca. $R'_w = 44 \text{ dB}$ geschätzt.

Bild 9: Schalldämm-Maß R' zwischen angrenzenden Unterrichtsräumen in Schule VII

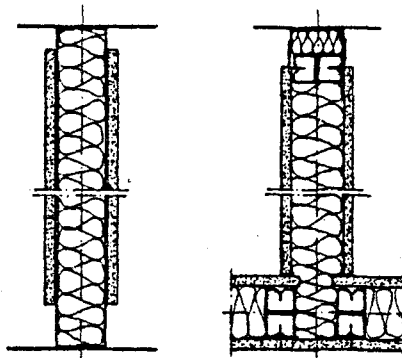
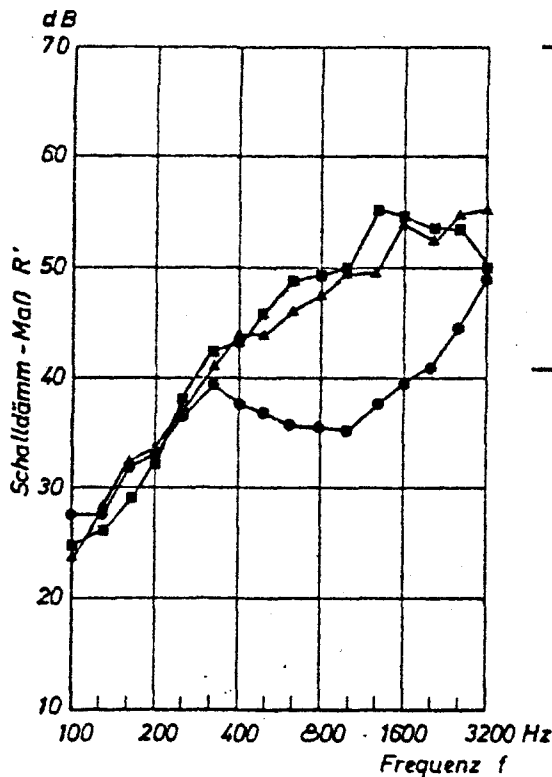
(Gefordert: $R'_w \geq 47 \text{ dB}$)

Vermutlich wird die Schalldämmung zwischen den Räumen im wesentlichen durch Übertragung über den Teppich-Bodenbelag und über den Hohlraum der abgehängten Unterdecke erheblich vermindert.

Schule VIII

Aus Bild 10 ist der Einfluß der Übertragung über einen Nadelfilz-Bodenbelag bei sonst gleichen Einbaubedingungen zu ersehen.

Wandaufbau zwischen den Unterrichtsräumen



100 mm dicke versetzbare Metall-Doppelständer-Montagewand mit beidseitiger Beplankung aus 9,5 mm dicken Gipskarton-Bauplatten und Stahlblech-Deckplatten sowie Mineralfaserfilz im Hohlraum, Flächengewicht ca. 45 kg/m²

- a ●—● Wand zwischen den Unterrichtsräumen 1/2: $R'_w = 39$ dB
- b ○—○ Wand zwischen den Unterrichtsräumen P/T: $R'_w = 47$ dB
- c ▲—▲ Wand zwischen den Unterrichtsräumen B/L: $R'_w = 47$ dB

Schalldämm-Maß der Wandkonstruktion bei Prüfung im Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung: $R'_w = 49$ dB

Die Wand zu a wurde auf einem Nadelfilz-Bodenbelag und die Wände zu b und c auf einem 2 mm PVC-Belag mit 4 mm Schaumstoffunterlage aufgestellt und bis zur abgehängten Akustik-Bandrasterdecke mit Mineralfaserfilzaufgabe hochgeführt. Der seitliche Anschluß der Wände erfolgte im Bereich der Außenfassade an eine leichte Außenwandkonstruktion und im Flurbereich an Wände gleicher Bauart.

Erreichbares Schalldämm-Maß zwischen den Unterrichtsräumen bei der Einbausituation bzw. bei der geschätzten Flankenübertragung: R'_w ca. 47 dB

Bild 10: Schalldämm-Maß R' zwischen angrenzenden Unterrichtsräumen in Schule VIII
(Gefordert: $R'_w \geq 47$ dB)

Über den schädlichen Einfluß der Schallübertragung über Teppich- bzw. Textil-Bodenbeläge, die unter den Trennwänden durchgehend verlegt werden, wurde bereits in [19], [20] und [3] berichtet. Die auf den PVC-Bodenbelägen aufgestellten Wände zu b und c erreichen die unter Berücksichtigung der Längsleitung über den Hohlraum der Akustik-Bandrasterdecke bei schalldichtem Einbau zu erwartende Schalldämmung und erfüllen die in DIN 4109 E [6] an den Schallschutz zwischen Unterrichtsräumen gestellten Mindestanforderungen.

4.3 Bewegliche Innenwände

Bewegliche Innenwände sind nichttragende, in festen Führungen laufende Schiebe- oder Faltwände, die in der Regel horizontal bewegt werden können [4].

Es wird nur über Schiebewände berichtet, die in drei Schulen untersucht worden sind.

Schule III

Aus folgendem Bild 11 geht hervor, daß bei Ermittlung eines Schalldämm-Maßes für die "festen" Innenwände (s. Abschn. 4.1 Bild 5) von 39 dB die "beweglichen" Innenwände nur ein $R'_w = 30$ dB erreichen, obwohl von den Herstellern aufgrund von Prüfstandprüfungen hierfür ein $R'_w = 50$ dB angeboten worden ist.

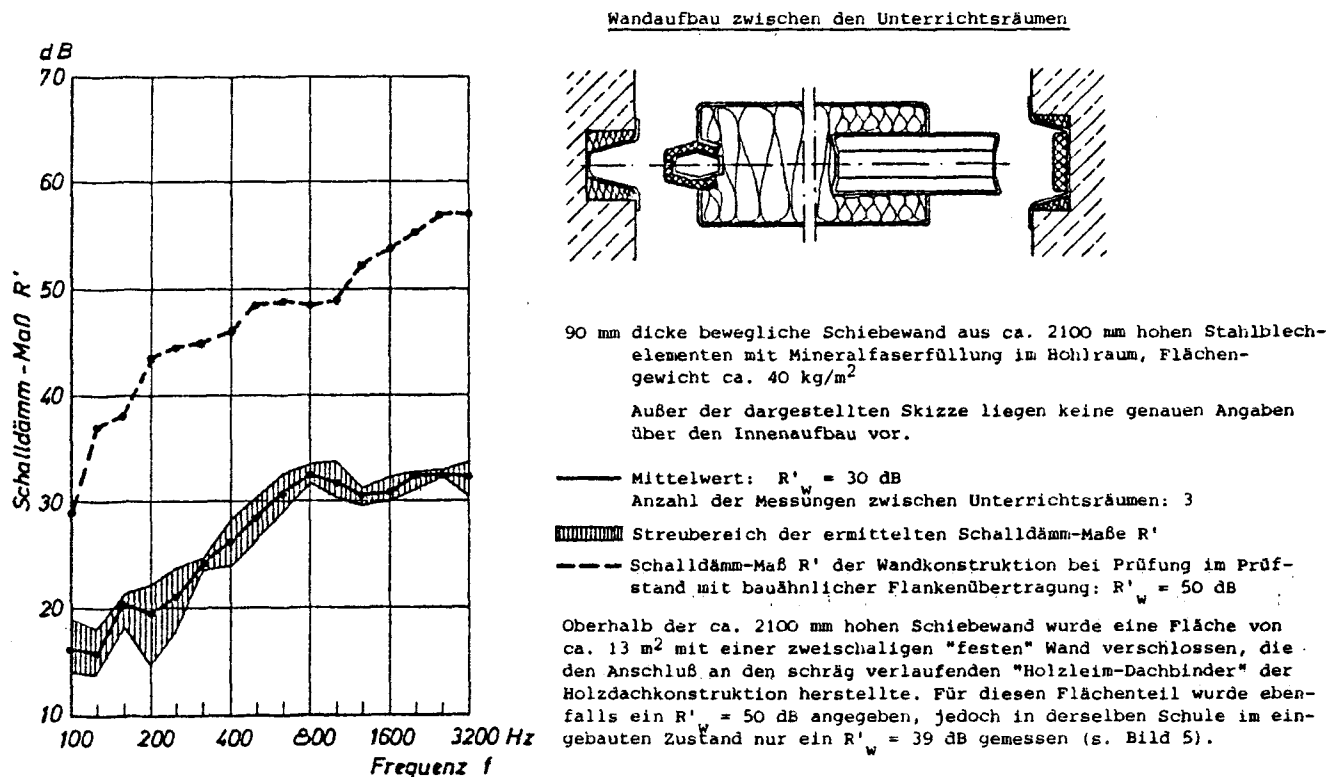


Bild 11: Schalldämm-Maß R' zwischen angrenzenden Unterrichtsräumen in Schule III

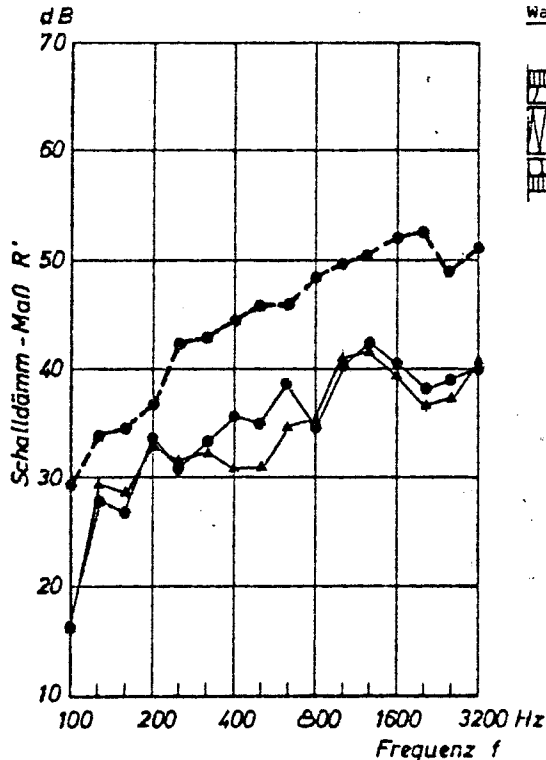
(Gefordert: $R'_w \geq 47$ dB)

Die Untersuchungen wurden kurz nach Fertigstellung der Schule durchgeführt. Bei beweglichen Wänden ist zu erwarten, daß nach mehrjähriger Benutzung die beweglichen Wandelemente nicht mehr so dicht schließen und somit die Schalldämmung der Wände ungünstiger wird. Entsprechende Prüfungen wurden bisher jedoch nicht durchgeführt.

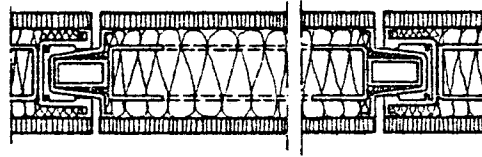
Schule VI

Wie aus Abschn. 4.2, Bild 8 hervorgeht, wurden in der Schule VI auch zwei versetzbare Innenwände untersucht, die ein R'_w von 35 dB und 38 dB erreichten. Das Bild 12 zeigt die Schalldämm-Maße von zwei geprüften beweglichen Innenwänden, deren Schalldämmung im tieffrequenten Bereich günstiger ist

als die der versetzbaren Wände. Die bewerteten Schalldämm-Maße R'_w betragen hier 37 dB und 38 dB.



Wandaufbau zwischen den Unterrichtsräumen



100 mm dicke bewegliche Wand aus raumhohen Schiebeelementen mit Mineralfaserfüllung, Flächengewicht ca. 40 kg/m^2 .
Außer der dargestellten Skizze liegen keine genauen Angaben über den Innenaufbau vor.

- ▲— Wand zwischen den Unterrichtsräumen 47/48: $R'_w = 37 \text{ dB}$
- Wand zwischen den Unterrichtsräumen 49/50: $R'_w = 38 \text{ dB}$
- - - Schalldämm-Maß R' der Wandkonstruktion bei Prüfung im Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung: $R'_w = 48 \text{ dB}$

Die Wände wurden auf einem Verbundestrich aufgestellt und bis zur Rohdecken-Unterkante hochgeführt. Der seitliche Anschluß der Wände an die leichte Außenfassade erfolgte über ein 180/100/5,6 mm Stahlrohr und Dichtungsmittel und im Flurbereich an eine Betonstütze.

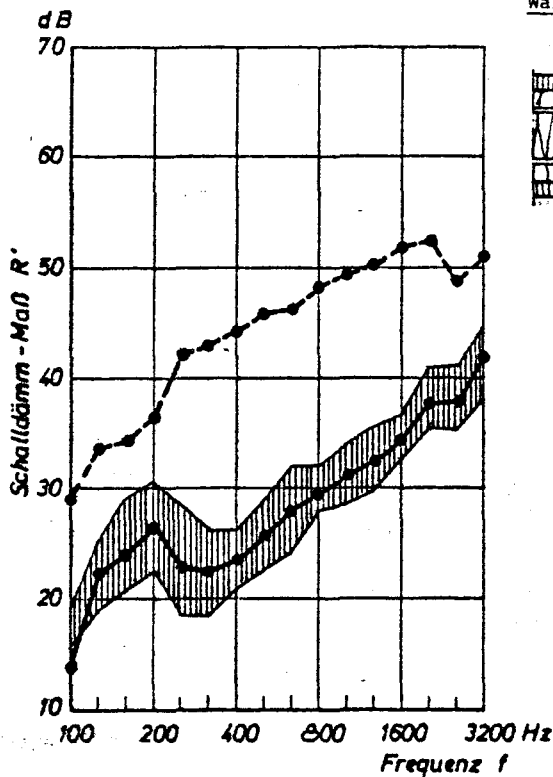
Es kann angenommen werden, daß bei dem Aufbau des Gebäudes das zwischen den Räumen erreichbare Schalldämm-Maß bis zu einem $R'_w = 47 \text{ dB}$ durch Längsübertragung über flankierende Bauteile nicht beeinflusst wird.

Bild 12: Schalldämm-Maß R' zwischen angrenzenden Unterrichtsräumen in Schule VI
(Gefordert: $R'_w \geq 44 \text{ dB}$)

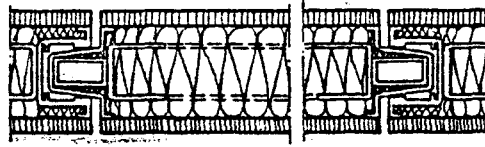
Die hier im angetroffenen Zustand ermittelte Schalldämmung ist im Vergleich mit den übrigen Prüfergebnissen an beweglichen Innenwänden verhältnismäßig günstig.

Schule IX

Die gleiche Wandkonstruktion, die in Schule VI (s. Bild 12) untersucht worden ist, wurde hier bei einer sehr günstigen Einbausituation nochmals geprüft. Den Mittelwert von 4 geprüften Wänden zeigt das Bild 13.



Wandaufbau zwischen den Unterrichtsräumen



100 mm dicke bewegliche Wand aus raumhohen Schiebeelementen mit Mineralfaserfüllung. Außer der dargestellten Skizze liegen keine genaueren Angaben über den Innenaufbau vor. Flächengewicht ca. 40 kg/m²

- Mittelwert: $R'_w = 31$ dB
- Anzahl der Messungen zwischen Unterrichtsräumen: 4
- ▨ Streubereich der ermittelten Schalldämm-Maße R'
- - - Schalldämm-Maß der Wandkonstruktion bei Prüfung im Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung: $R'_w = 48$ dB

In dieser Schule war die Einbausituation für die Wände sehr günstig. Die Wände konnten von Oberkante Fußboden bis Unterkante Decken-Betonträger an massive Bauteile dicht angeschlossen werden. Die Bedingungen für den seitlichen Anschluß der Wände waren ebenfalls günstig. Im Bereich der Außenwand erfolgte der Anschluß an eine Betonstütze und im Flurbereich an eine 24 cm dicke Betonwand.

Die Flankenübertragung ist bei dieser Einbausituation kleiner als in einem Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung nach DIN 52 210, so daß normalerweise ein $R'_w = 48$ dB erwartet werden konnte.

Bild 13: Schalldämm-Maß R' zwischen angrenzenden Unterrichtsräumen in Schule IX
(Gefordert: $R'_w \geq 44$ dB)

Obwohl hier die Einbaubedingungen nicht ungünstiger waren als die in einem Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung wurde statt einem $R'_w = 48$ dB im Mittel nur ein $R'_w = 31$ dB erreicht.

5. Zusammenfassende Darstellung der an Wänden zwischen Unterrichtsräumen in 9 Schulen ermittelten Ergebnisse

Aus Bild 14 ist eine Zusammenstellung der in Schulbauten und in Prüfständen mit bauähnlicher Flankenübertragung an leichten Wänden ermittelten bewerteten Schalldämm-Maße R'_w zu ersehen.

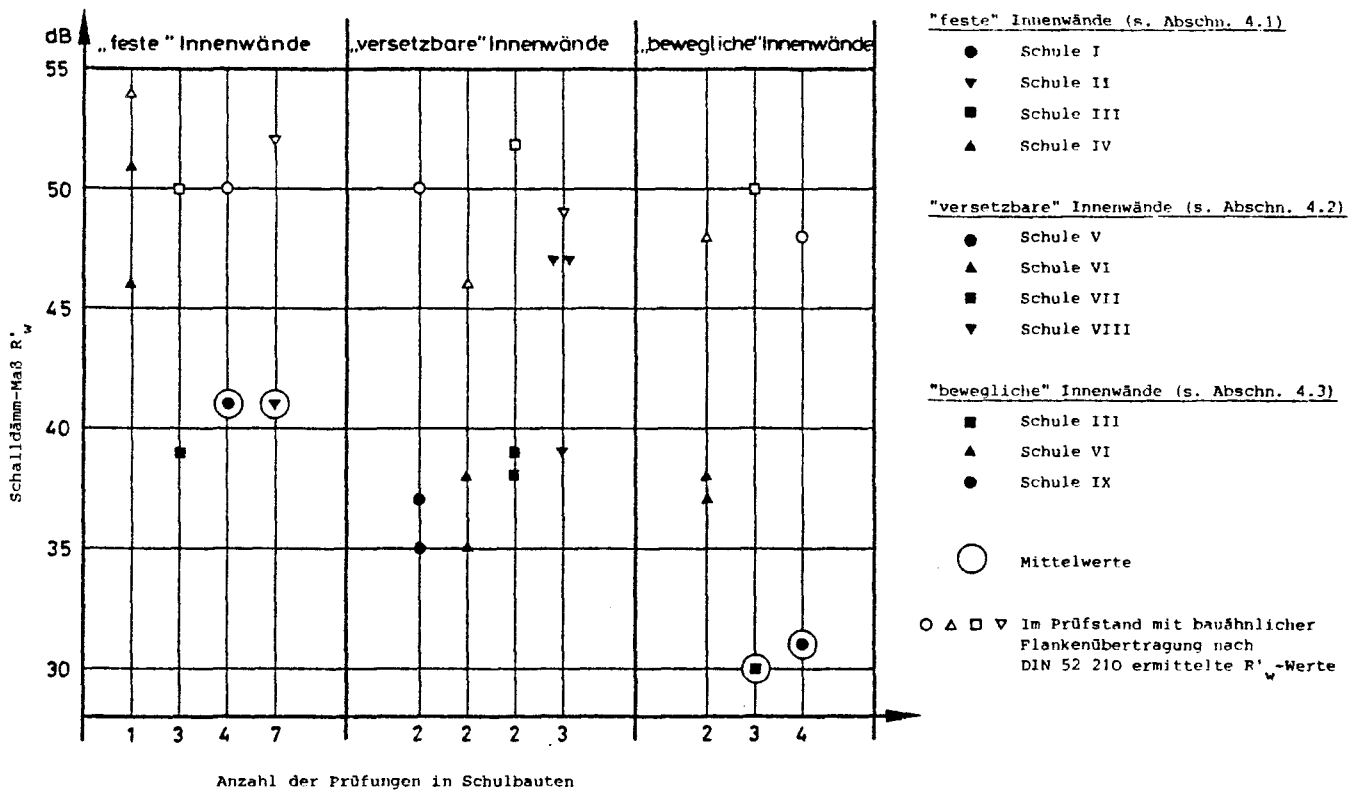


Bild 14: Gegenüberstellung der in Schulbauten und in Prüfständen ermittelten Schalldämm-Maße R'_w

Eine zahlenmäßige Angabe der Mittelwerte bei Prüfung in Prüfständen mit bauähnlicher Flankenübertragung und bei Prüfung in Schulbauten sowie der sich daraus ergebenden Differenz $\Delta R'_w$ erfolgt in Tabelle 1.

Aus Bild 14 und aus Tabelle 1 geht im wesentlichen hervor, daß

- bei "festen" Innenwänden und bei versetzbaren Innenwänden bei Prüfung in Schulbauten im Mittel um 10 dB geringere Schalldämm-Maße festgestellt wurden, als die angegebenen Prüfstandswerte, wobei die bei festen Wänden in Schulbauten festgestellten R'_w -Werte im Mittel um ca. 2 dB günstiger sind, als die der versetzbaren Wände ;
- an den beweglichen Wänden wurden in Schulbauten im Mittel um 17 dB ungünstigere Werte festgestellt, als die angegebenen Prüfstandswerte;
- die zu a und b angegebene, gegenüber den Prüfstandswerten festgestellte verminderte Schalldämmung der Wände in fertigen Bauten schätzungsweise bis ca. 4 dB auf die Schall-Längsleitung und im Mittel ca. 8 dB bis 16 dB auf eine unsachgemäße bzw. vom Einbau im Prüfstand abweichende Bauausführung zurückzuführen ist.

Wandart	R' -Mittel bei Prüfung ⁺⁾ im Prüfstand ⁺⁾	Anzahl der Prüfungen in Schulen	R' -Mittel bei Prüfung in Schulen	Differenz $\Delta R'$ zwischen Prüfungen im Prüfstand und in Schulbauten ^W		
				insgesamt	davon: verursacht durch Schall-Längslei- tung (geschätzt)	verursacht durch unsachgemäßen Einbau ++)
Feste Innenwände (s. Abschn. 4.1)	51,5 dB	16 in 4 Schulen	41,6 dB	max.: -13 dB Mittel: -10 dB min.: - 3 dB	max.: -4 dB Mittel: -2 dB min.: 0 dB	max.: -9 dB Mittel: -8 dB min.: -3 dB
Versetzbare Innenwände (s. Abschn. 4.2)	49,3 dB	9 in 4 Schulen	39,3 dB	max.: -15 dB Mittel: -10 dB min.: - 2 dB	max.: -4 dB Mittel: -2 dB min.: 0 dB	max.: -11 dB Mittel: - 8 dB min.: 0 dB
Bewegliche Innenwände (s. Abschn. 4.3)	48,7 dB	9 in 3 Schulen	31,9 dB	max.: -20 dB Mittel: -17 dB min.: -10 dB	max.: -3 dB Mittel: -1 dB min.: 0 dB	max.: -17 dB Mittel: -16 dB min.: -10 dB

Tabelle 1: Vergleich der Mittelwerte der Schalldämm-Maße bei Prüfung im Prüfstand und bei Prüfung in Schulbauten

⁺⁾ Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung nach DIN 52 210

⁺⁺⁾ Unsachgemäße (undichte) Bauausführung liegt auch dann vor, wenn die Wände abweichend von der Prüfung im Prüfstand z.B. auf durchgehende Teppich-Bodenbeläge aufgestellt werden. Ferner wird häufig durch eine unsachgemäße Ausführung von Akustik-Bandrasterdecken die Schalldämmung zwischen den Räumen erheblich vermindert.

Die stichprobenartig im angetroffenen Zustand an leichten Wänden ermittelten Prüfergebnisse bestätigen im wesentlichen die bisherige Erfahrung, daß die für die Werbung benutzten Prüfstandwerte in Bauten teilweise bei weitem nicht erreicht werden.

6. Schalltechnische Mängel in neuerrichteten Schulen

Zur Feststellung der Ursachen des mangelhaften Schallschutzes in neuerrichteten Schulen mit leichtem Geschoßausbau wurden umfangreiche Messungen durchgeführt. Sowohl bei diesen Untersuchungen als auch bei Güteprüfungen im Rahmen der amtlichen Materialprüfung ist wiederholt festgestellt worden, daß die Herabsetzung der Schalldämmung durch mehrere Übertragungswege verursacht wurde, wobei u.a. immer ein undichter Anschluß der Wände an die Begrenzungsflächen vorlag. Nachfolgend wird über Messungen in zwei Schulen berichtet.

6.1 Mängelursachen in Schule I

Die zwischen zwei Unterrichtsräumen in der Schule I (s. Abschnitt 4.1, Bild 3) ermittelten Ergebnisse enthält die Tabelle 2.

Luftschalldämmung zwischen den Unterrichtsräumen 206/205, gemessen bei folgenden baulichen Veränderungen		LSM (dB)	R'_w (dB)
1	Im angetroffenen Zustand	-12	40
2	Über der Trennwand 206/205 wurde eine provisorische Abschottung mittels Mineralfaserballen (Dicke ca. 45 cm) und durch Ausstopfen hergestellt	-12	40
3	wie 2, jedoch wurde der Wandanschluß an das Bandraster-Profil der Decke beidseitig verkittet	-10	42
4	wie 3, jedoch auch der seitliche Anschluß der Trennwand (an Außen- und Flurwand) beidseitig verkittet	-7	45
5	wie 4, jedoch Wandanschluß der Trennwand beidseitig umlaufend verkittet, d.h. auch Anschluß an den Fußboden	-6	46
6	wie 5, jedoch mit einer provisorisch errichteten Vorsatzschale aus 12 mm dicken porösen Holzfaserplatten vor der Trennwand	-5	47
7	wie 6, jedoch provisorische Abschottung über der Trennwand nach 2 beseitigt	-8	44

Luftschalldämmung zwischen den Unterrichtsräumen 206/205, gemessen bei folgenden baulichen Veränderungen		LSM (dB)	R'_w (dB)
8	wie 7, jedoch ohne Vorsatzschale vor der Wand	-9	43
9	wie 8, jedoch Verkittung am Fußbodenanschluß beseitigt	-9	43
10	wie 9, jedoch sämtliche Lichtfelder im Raum 205 mit porösen Holzfaserplatten abgedeckt	-8	44
11	wie 10, jedoch zusätzlich sämtliche Heizungs-/ Lüftungsöffnungen im Raum 205 vollflächig abgedeckt	-8	44

Tabelle 2: Luftschalldämmung zwischen zwei Unterrichtsräumen bei baulichen Veränderungen

Augenscheinlich mußte angenommen werden, daß die Übertragung zwischen den Räumen maßgeblich über die Akustik-Bandrasterdecke erfolgt, weil in dieser nicht nur sechs großflächige Beleuchtungskörper von $1100 \times 1100 \text{ mm}^2$, sondern auch noch Lüftungsöffnungen eingebaut waren. Deshalb wurde zunächst über der Trennwand und seitlich ca. 2 m über der Flurwand ein "Absorberschott" [21] durch Ausstopfen mit Mineralfaserballen in ca. 40 bis 50 mm Breite hergestellt, jedoch dadurch keinerlei Verbesserung erzielt. Erst nach dem beidseitigen Verkitten der Wandanschlüsse

- an die Rasterdecke
- an die Außenwand
- an die Flurwand und
- an den Fußboden

wurde eine deutliche Verbesserung der Luftschalldämmung zwischen den Räumen erreicht. Durch die Errichtung einer Vorsatzschale vor der Trennwand (Meßreihe 6) wurde insbesondere im hochfrequenten Bereich die Übertragung herabgesetzt; dadurch wurde jedoch R'_w nur um 1 dB verbessert. Bei der Nebenwegübertragung über die abgehängte Decke bzw. über den Hohlraum war also eine weitere Verbesserung der Luftschalldämmung zwischen den Räumen nicht möglich.

6.2 Mängelursachen in Schule IX

Übersichtshalber werden in Bild 15 von 9 Meßreihen nur die für drei Bauzustände zu a, b und c ermittelten Schalldämm-Maße angegeben; außerdem zum Vergleich das bei Prüfung der "beweglichen" Trennwand im Prüfstand ermittelte Schalldämm-Maß (Kurve d) und das bei entsprechender Bauausführung der Trennwand in der Schule erreichbare Schalldämm-Maß (s. Kurve e).

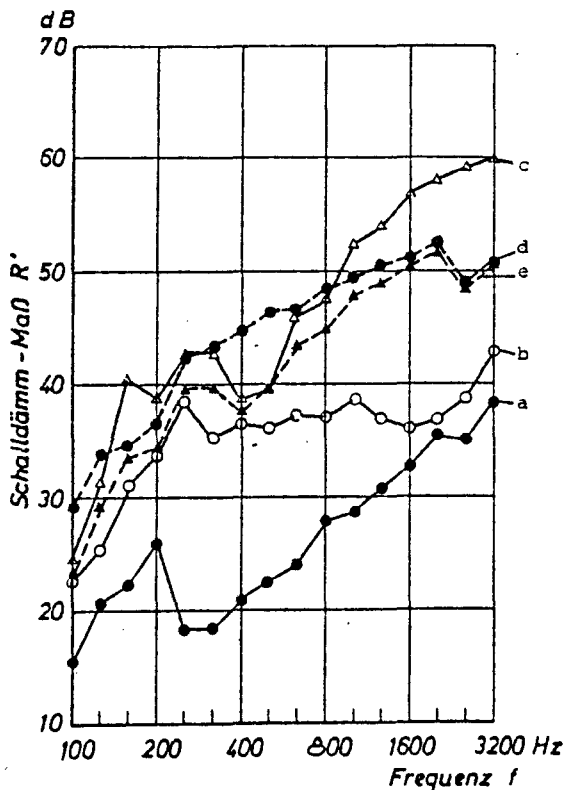
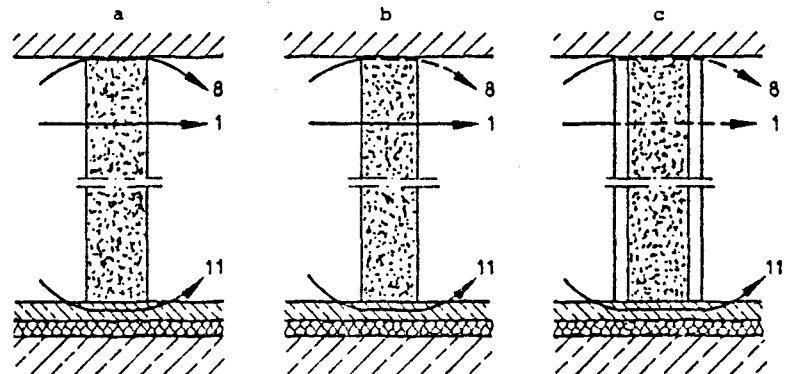


Bild 15: Schalldämm-Maße zwischen zwei Unterrichtsräumen bei unterschiedlichen Übertragungsweisen

Schematische Darstellung des Wandanschlusses an die Decke und an den Fußboden



- a —●— Übertragungswege 1 + 8 + 11 $R'_w = 27 \text{ dB}$
b —○— Übertragungswege 1 + 11 $R'_w = 38 \text{ dB}$
c —△— Übertragungsweg 11 $R'_w = 48 \text{ dB}$
d —●— Schalldämm-Maß R' der Wand bei Prüfung im Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung: $R'_w = 48 \text{ dB}$
e —△— R' bei Übertragung über den Weg 1 (s. Kurve d) und über den Weg 11 (s. Kurve c), berechnet nach Abschnitt 4.1, Gleichung (3) $R'_w = 45 \text{ dB}$

Übertragungswege

- 1 Übertragung unmittelbar durch die Trennwand
8 Übertragung über den Anschluß an die Decke
11 Übertragung über einen durchgehend eingebauten ca. 5 cm dicken schwimmenden Estrich

Die zwischen zwei Räumen beim leichten Geschoßausbau möglichen Wege der Schallübertragung wurden in Abschnitt 3.2 beschrieben und in Bild 2 dargestellt.

Aus Bild 15 geht hervor, daß

- durch das Abdichten des Wandanschlusses an die Decke eine Verbesserung des Schalldämm-Maßes um 11 dB erreicht worden ist,
- bei dichter Bauausführung der Wandanschlüsse an die Begrenzungsflächen und unendlich hoher Schalldämmung der Trennwand zwischen den Räumen nur ein Schalldämm-Maß von R'_w ca. 48 dB erreichbar ist und
- bei einer der Prüfstandprüfung entsprechenden Ausführung der "beweglichen" Trennwand bei den zu c festgestellten Nebenwegbedingungen ein R'_w von ca. 45 dB erreicht werden könnte.

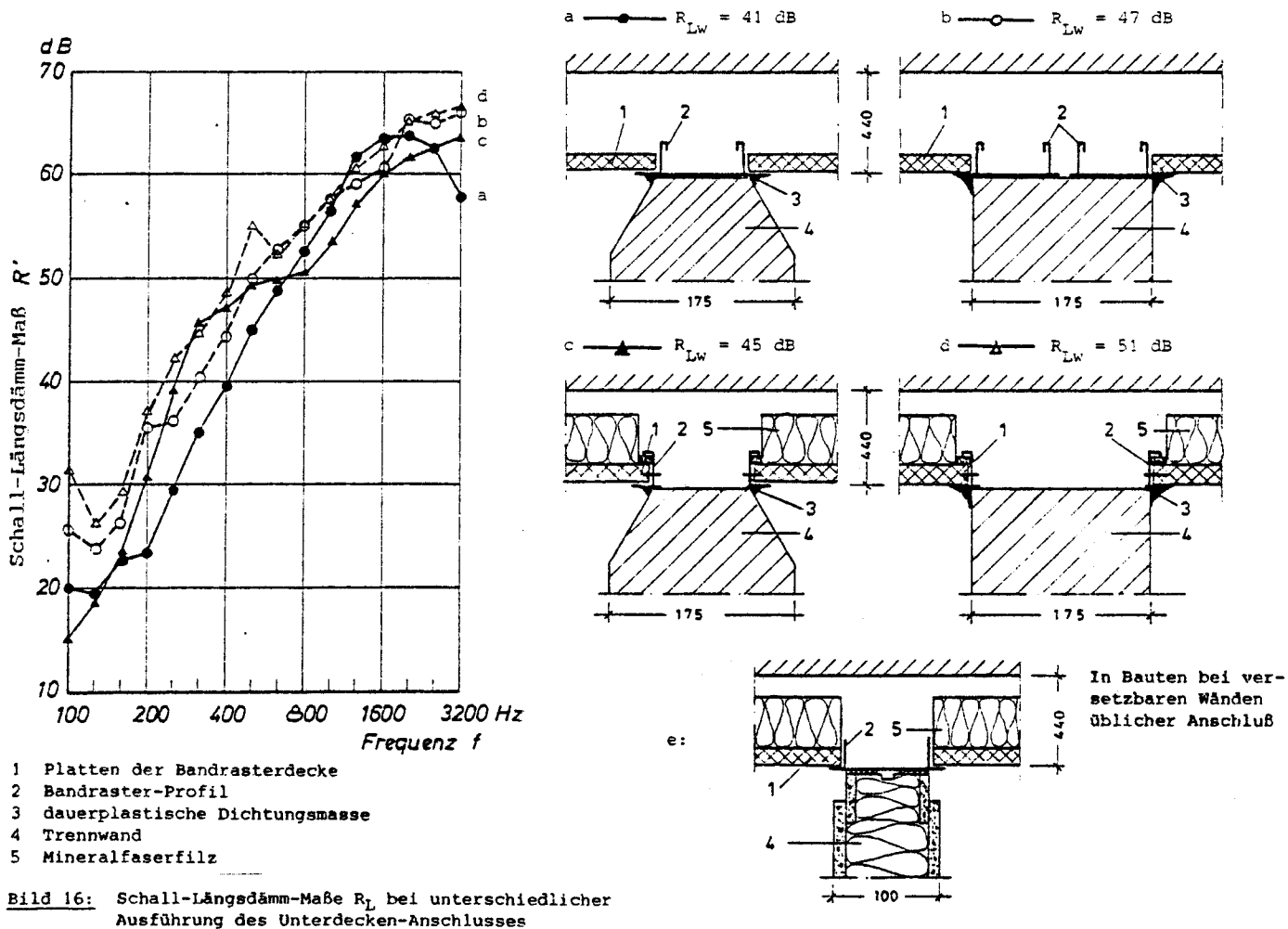
Der R'_w -Unterschied zwischen b und c von 10 dB ist im Frequenzbereich von 315 Hz bis 630 Hz auf die Schallabstrahlung des durchgehend eingebauten schwimmenden Estrichs und über 630 Hz auf mangelhafte Schalldämmung der Trennwand - einschließlich der seitlichen Wandanschlüsse - zurückzuführen. Hinsichtlich des Planungsfehlers wird auf Abschnitt 7 hingewiesen.

Wie schon bei Prüfungen in anderen Bauten festgestellt, haben auch diese Untersuchungen in den Schulen I und IX ergeben, daß die zwischen den Unterrichtsräumen erreichbare Schalldämmung durch mehrere Übertragungswege vermindert wird, so daß für die Lokalisierung der einzelnen Übertragungswege ein sehr großer Aufwand erforderlich ist.

7. Planungsfehler

Zur Vermeidung von Planungsfehlern müßte zunächst bei jedem Geschoßausbau mit leichten Bauelementen das zwischen zwei Räumen bei der vorgesehenen Bauart zu erwartende Bau-Schalldämm-Maß R'_w nach dem in Abschnitt 3.3, Gleichungen (1) und (2), angegebenen Berechnungsverfahren ermittelt werden. Dabei ist unbedingt zu beachten, daß durch die rechnerische Abschätzung nur dann

eine brauchbare Aussage erreicht wird, wenn die Ausführung und der Anschluß der Bauteile an die Begrenzungsflächen in gleichwertiger Art und Weise erfolgen, wie bei der Prüfung im Prüfstand. Diese Gleichwertigkeit kann in der Regel nur von einem erfahrenen Fachmann beurteilt werden. Darauf wird bereits in [21] und [22] in diesem Zusammenhang hingewiesen.



In Bild 16 sind unterschiedliche Ausführungen des Anschlusses der Trennwände an die Unterdecken und die zugehörigen Schall-Längsdämm-Maße R_L dargestellt. Während bei a und c jeweils nur am Anschluß der Trennwand an das Bandraster-Profil mit dauerplastischer Dichtungsmasse abgedichtet wurde, erfolgte dies bei b und d am Anschluß der Unterdeckenschale an die 175 mm dicke Trennwand. Da die Untersuchungen in demselben Prüfstand erfolgten, kann gesagt werden, daß allein durch die Übertragung über den Anschluß der Unterdeckenplatten an das Bandraster-Profil im Bereich des Trennwandanschlusses eine Verminderung des Schall-Längsdämm-Maßes R_L von 47 dB auf 41 dB bzw. von 51 dB auf 45 dB, also um 6 dB, verursacht wird.

Noch ungünstiger ist erfahrungsgemäß die Ausführung in der Praxis (s. Skizze e), weil dort insbesondere bei versetzbaren Wänden ein Abdichten, z.B. mit dauerelastischem Kitt, am Anschluß der Trennwand an das Bandraster-Profil - wie zu a und c ausgeführt - im allgemeinen von Architekten unerwünscht ist. Wie aus Abschnitt 5.1, Tabelle 2, Zeile 3, zu ersehen ist, wurde dort durch die provisorische Abschottung (Zeile 2) keinerlei Verbesserung erzielt, weil der Anschluß der Trennwand an das Bandraster-Profil der Decke nicht ausreichend dicht war. Es wäre also ein Planungsfehler, wenn die R_{Lw} -Werte zu b und d bei der rechnerischen Abschätzung der zwischen den Räumen zu erwartenden Gesamtschalldämmung R'_w verwendet würden.

Im folgenden Bild 17 wird gezeigt, in welchem Ausmaß die Schalldämmung einer Wandkonstruktion durch einseitiges Verkitten des Wandanschlusses an die seitlichen Begrenzungsflächen sowie an die Decke und den Fußboden verbessert worden ist.

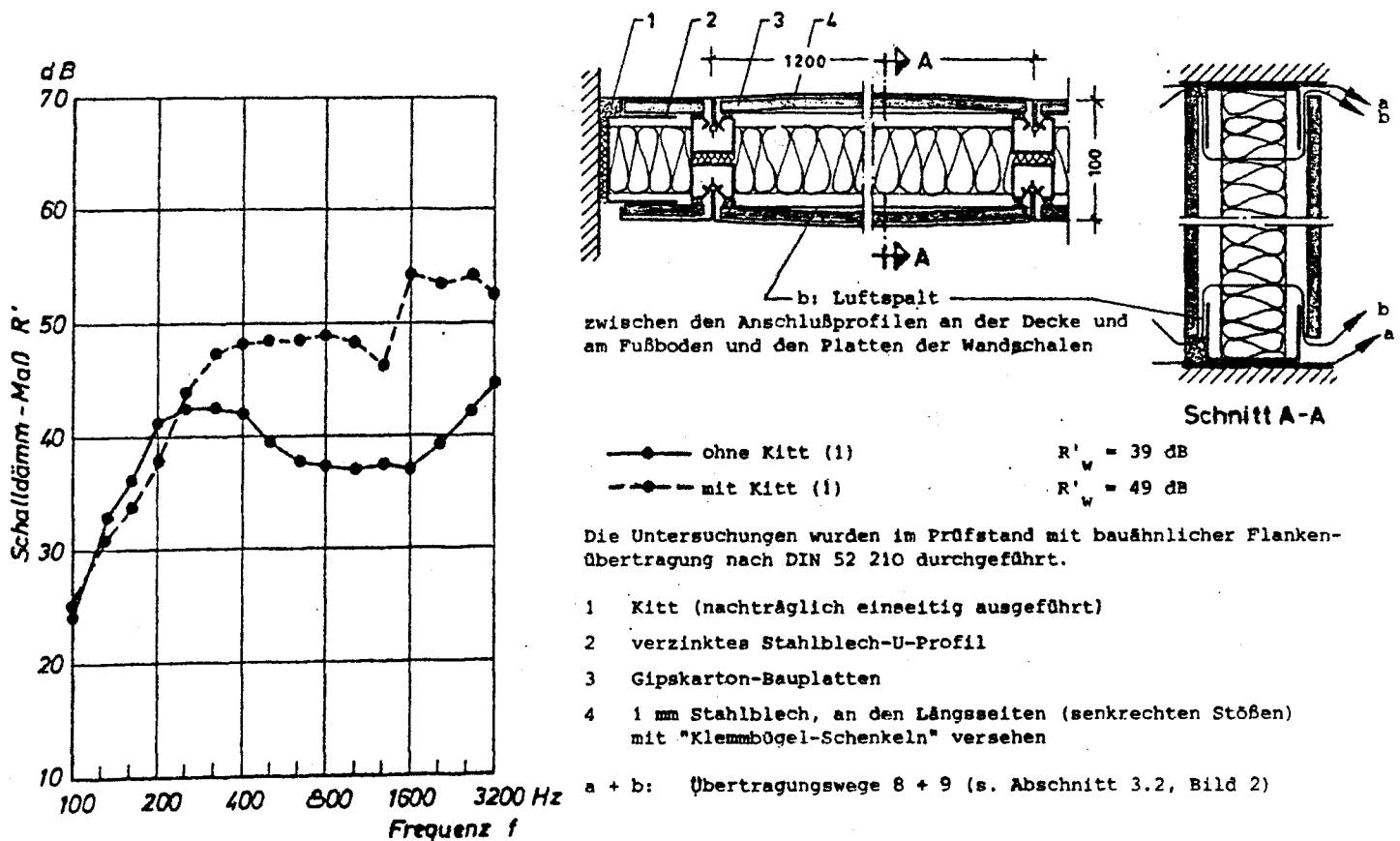


Bild 17: Schalldämm-Maß einer Wandkonstruktion bei unverkittetem und einseitig verkittetem Anschluß

Die durch das Verkitten erreichte verhältnismäßig hohe Verbesserung der Luftschalldämmung von $R'_w = 39$ dB auf $R'_w = 49$ dB ist darauf zurückzuführen, daß durch das Verkitten nicht nur die Übertragung über den Weg a, sondern gleichzeitig auch die Übertragung über den Weg b vermindert wurde. In der Praxis ist wiederholt festgestellt worden, daß bei 1200 mm Breite der raumhohen Elemente diese nicht dicht anliegen, sondern zur Herstellung einer ausreichenden Dichtigkeit zusätzlich mindestens einmal in der Mitte befestigt und dadurch an das Fußbodenprofil angepreßt werden müssen. Außerdem dürfen diese nicht unter Spannung eingesetzt werden. Es sind also eine genaue Einhaltung des Abstandes zwischen den Stielen und bei der Herstellung der Elemente eine genaue Einhaltung der Maße notwendig. Es ist ein Planungsfehler, wenn das beim einseitigen Verkitten erreichte Schalldämm-Maß zugrunde gelegt und gleichzeitig festgelegt wird, daß die Anschlüsse der Trennwand nicht verkittet werden dürfen. Ferner liegt ein Planungsfehler vor, wenn abweichend von der Prüfung im Prüfstand die Wände z.B. auf durchgehenden Teppich-Bodenbelägen aufgestellt werden sollen [19, 3]. Werden bei der Planung Schalldämm-Maße aus den Firmenprospekten ohne Berücksichtigung der Einbausituation zugrunde gelegt, so ist dies ebenfalls eine Fehlplanung. In den Firmenprospekten werden annähernd ausnahmslos Prüfstandergebnisse angegeben, die z.B. beim leichten Geschoßausbau in der Praxis im allgemeinen bisher nicht erreicht worden sind.

8. Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen bei Berücksichtigung der Hinweise und Empfehlungen in "Rationalisierung im Schulbau" [4]

In [4] wurde u.a. ausgeführt, daß eine wichtige Maßnahme zur Unterstützung des Übergangs von traditionellen Bauweisen zur Industrialisierung die ländersweite Einführung des Forderungskataloges zur Standardisierung im Schulbau ist. Die Verwirklichung der dort beschriebenen Planungsgrundlagen und Bausysteme erfolgte im allgemeinen ohne Einhaltung der schalltechnischen Anforderungen. Anfangs wurden Schulen errichtet, in denen zwischen den Unterrichtsräumen nur Schalldämm-Maße von $R'_w \leq 35$ dB erreicht worden sind.

Wie aus dem Abschnitt 5, Tabelle 1, dieses Berichtes zu ersehen ist, wurde in den untersuchten Schulen bei "festen" und "versetzbaren" Wänden zwischen Unterrichtsräumen R'_w -Werte um etwa 40 dB und bei "beweglichen" Wänden R'_w -Werte von etwa 32 dB festgestellt, obwohl bei der Planung und Auftragserteilung ein Mindestschallschutz von $R'_w \geq 44$ dB bzw. $R'_w \geq 47$ dB (s. Bilder 3 bis 13)

gefordert worden war. Ferner ist aus Abschnitt 5, Tabelle 1, zu ersehen, daß der mangelhafte Schallschutz überwiegend auf eine unsachgemäße bzw. auf eine von Einbau und Prüfung im Prüfstand abweichende Bauausführung zurückzuführen ist.

Durch folgende Anforderungen in dem in [4] aufgenommenen Forderungskatalog wird die Einhaltung der in DIN 4109 E [6] festgelegten Mindestwerte für den Schallschutz wesentlich erschwert.

- 1.5.0: Die Installation und der Ausbau sollen im Rahmen der unterschiedlichen Qualitätsanforderungen, insbesondere der Forderungen der Variabilität und Flexibilität, veränderbar sein.
- 4.1.2: In Bereichen zusammenhängender Nutzungsflächen mit versetzbaren Trennwänden sollen einheitliche Oberbeläge verlegt werden.
- 4.3.2: Innenwände können entweder einmal verwendbar, versetzbar oder beweglich ausgebildet werden. Veränderungen sollen mit möglichst geringem Aufwand, durch einfache Mittel ohne wesentliche Störung des Betriebes, möglich sein.

In [4] folgen drei Skizzen, in denen dargestellt wird, daß bei durchgehend abgehängten Decken (ohne Abschottungen) die Veränderungen zu 4.3.2 am besten erreichbar sind.

- 4.4.2: Einbauten und Unterdecken für Beleuchtung, Belüftung und andere Zwecke sollen so unterteilt und angeordnet sein, daß eine Veränderung der Raumaufteilung nach Ziffer 1.2.0 (Bildung von größeren zusammenhängenden Nutzungsflächen auf Geschoßebene) möglich ist.
- 4.4.4: Das Luftschallschutzmaß geschlossener Unterdecken im Zusammenhang mit darunter endenden Trennwänden soll im doppelten Schalldurchgang dem Luftschallschutzmaß der Trennwand entsprechen.

Die Anforderung nach Ziffer 1.5.0 führte bei versetzbaren und bei beweglichen Wänden in den Ausschreibungstexten im allgemeinen zu der Festlegung, daß keine Dichtungsmittel wie Kitt, Spachtel o.ä. am Anschluß der Wände an die Begrenzungsflächen verwendet werden dürfen. Da bei Dichtungseinlagen aus anderen Materialien, wie z.B. Schaumstoff, Filz, Mineralfaserfilz o.ä.,

erfahrungsgemäß bereits kleine Unebenheiten zu einem undichten Anschluß führen und sogar bei Prüfung in den Prüfständen häufig ein Anschluß an ebene Begrenzungsflächen ohne Kitt nicht ausreichend schalldämmend war, sind durch solche Festlegungen bereits undichte und somit wenig schalldämmende Ausführungen "vorprogrammiert" worden.

Auf Grund der Aussage zu 4.1.2 und des Hinweises unter 6.6 des Forderungskatalogs wurde bei der Ausschreibung eine unter den Wänden durchgehende Verlegung von Filz- oder Teppichbodenbelägen vorgeschrieben, wodurch der Schallschutz zwischen den Räumen erheblich verschlechtert worden ist.

Für die Erfüllung der baulichen Forderung zu 4.3.2 sind am besten bewegliche Wände geeignet. Durch solche sehr teuren Wände wurden jedoch in fertiggestellten Schulen im allgemeinen die Mindestwerte für den Schallschutz bei weitem nicht erreicht (s. Abschnitt 5 , Tabelle 1). Die schalltechnischen Probleme bei durchgehend über den Trennwänden verlaufenden abgehängten Decken gehen teilweise aus Abschnitt 7 , Bild 16 hervor.

Der Abschnitt 4.4.2 gibt Hinweise für die Anordnung von Einbauten in Unterdecken für Beleuchtung, Belüftung und andere Zwecke. Hier wäre ein Hinweis sinnvoll, daß durch solche Einbauten die Schalldämmung einer abgehängten Decke nicht vermindert werden darf.

Die Forderung in Abschnitt 4.4.3 ist falsch, da bei einem der Trennwand entsprechenden Schalldämm-Maß von geschlossenen Unterdecken im doppelten Schalldurchgang bereits das Schalldämm-Maß zwischen den Räumen um 3 dB vermindert wird (s. Abschnitt 3.3 , Gleichung 1).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß es der Bauwirtschaft im Rahmen der Standardisierung und Rationalisierung im Schulbau nicht gelungen ist, Bausysteme zu entwickeln, die beim Einbau von elementierten Bauteilen die schalltechnischen Anforderungen für Schulen nach DIN 4109 [5, 6] erfüllen. Eine schalltechnische Neubearbeitung des Forderungskataloges zur Standardisierung im Schulbau und eine Fortentwicklung der Bausysteme in schalltechnischer Hinsicht sind erforderlich.

9. Vorschläge zur Herstellung eines zweckentsprechenden Schallschutzes in Schulen

9.1 Anforderungen

Es stellt sich nochmals die dringende Frage einer Korrektur der Mindestanforderungen. Sowohl bei diesen Untersuchungen als auch bei Prüfungen im Rahmen der amtlichen Materialprüfung ist in neuerrichteten Schulen festgestellt worden, daß beim Einbau von Bandrasterdecken und Wänden aus leichten werkmäßig hergestellten Bauelementen ein nach DIN 4109 E [6] ausreichender Schallschutz z.B. zwischen nebeneinander liegenden Unterrichtsräumen bisher nicht erreicht wird. In den Firmenprospekten werden nur die günstigsten Prüfstandergebnisse angegeben, die auch in den Norm-Vorlagen [13, 14] zu finden sind. Danach erfolgt die Auswahl der Konstruktionen, ohne daß die unterschiedlichen Einbaubedingungen Prüfstand/Schulbau berücksichtigt werden. Es ist z.B. den Firmenverbänden der Leichtbauindustrie bekannt, daß selbst in Prüfständen an gleichen Wandkonstruktionen unter gleichen Bedingungen teilweise etwa um 3 dB unterschiedliche R'_w -Werte ermittelt werden, weil z.B.

- a - für die Errichtung der Wandschaleneiner mehrschaligen Wand zwar gleich aussehende Platten mit gleicher Normbezeichnung, aber von zwei verschiedenen Herstellern verwendet werden, die eine unterschiedliche Biegesteifigkeit besitzen,
- b - die Befestigung der Wandschalen am Ständerwerk unterschiedlich vorgenommen wird, so daß dadurch ebenfalls die Biegesteifigkeit der Wandschalen und somit die Schalldämmung verändert wird,
- c - bei gleicher Wandkonstruktion einmal dickere und einmal dünnere Ständerwerk-Blechprofile verwendet werden.

Es ist also festzustellen, daß bereits bei einer Prüfung unter Prüfstandbedingungen an der gleichen Wandkonstruktion bei gleicher Bauausführung ein um ca. 3 dB unterschiedliches Schalldämm-Maß ermittelt wird. Das günstigste Ergebnis wird dann für den Nachweis vorgelegt. Beim vereinfachten rechnerischen Nachweis wird für die Berücksichtigung der "Flankenübertragung" ein Zuschlag von 6 dB vorgeschlagen (s. Abschnitt 3.3); hier müßte also allein für die materialbedingten Unsicherheiten noch ein weiterer Zuschlag von 3 dB erfolgen.

Es wäre dann bei einem zwischen zwei Unterrichtsräumen geforderten Schalldämm-Maß von $R'_w \geq 47$ dB eine Wand mit einem $R'_w \geq 56$ dB zu wählen. Eine so hohe Schalldämmung ist praktisch nur in Prüfständen nach DIN 52 210 durch leichte zwei- oder mehrschalige Wände mit getrennten Stielen zu erreichen. Die Zuordnung von entsprechend schalldämmenden Übertragungswegen über die flankierenden Begrenzungsflächen dürfte in Bauten mit großen Schwierigkeiten verbunden sein.

In den Vorlagen zu Teil 7 und Teil 8 [13, 14] wird erstmalig durch Berechnungsbeispiele verdeutlicht, welche schalltechnischen Anforderungen bei sämtlichen Raumbegrenzungsflächen notwendig sind, um z.B. ein Schalldämm-Maß von $R'_w \geq 45$ dB zwischen zwei Räumen zu erreichen. Hinzu kommt, daß in der Praxis ein etwa der Berechnung entsprechendes Ergebnis nur zu erwarten ist, wenn die Eigenschaften der zu verwendenden Materialien und insbesondere die Ausführung der Wandanschlüsse im Detail vorgeschrieben werden. Eine globale Normung ist nicht möglich.

Die Untersuchungen führen zu der Erkenntnis, daß die Verwirklichung der Forderung nach Variabilität und Flexibilität durch Verwendung von leichten elementierten Bauteilen mit wirtschaftlich erträglichem Aufwand offenbar nur durch Herabsetzung der Mindestanforderungen an den Schallschutz realisierbar ist. Aufgrund der Befragungsergebnisse bei [2] als auch in den hier untersuchten Schulen ist dies z.B. zwischen Unterrichtsräumen mit vergleichbaren geräuscherzeugenden Tätigkeiten ohne Nachteile für den Unterrichtsablauf möglich. So wurde in den Schulen, in denen ein $R'_w \geq 40$ dB zwischen den Unterrichtsräumen festgestellt worden ist, von den Lehrkräften die Schalldämmung im allgemeinen nicht beanstandet. Es wird daher eine Herabsetzung der Anforderungen für den Mindest-Schallschutz in DIN 4109 E Teil 2, Tabelle 1, Zeilen 22 und 23, von

$$R'_w \geq 47 \text{ dB auf } R'_w \geq 44 \text{ dB}$$

vorgeschlagen, denn nur erfüllbare Anforderungen sind in der Praxis durchsetzbar. Beim Einbau von Massivwänden müßten zur Vermeidung einer hohen Körperschallausbreitung Mindestgewichte festgelegt werden.

9.2 Anwendung des rechnerischen Nachweises

Für die Schule I (s. Abschnitt 4.1) wurde bereits bei der Planung im Jahre 1976, als vorübergehend zwischen den Unterrichtsräumen ein Mindest-Schallschutz von $R'_w \geq 44$ dB zu erfüllen war, ein rechnerischer Nachweis durchgeführt. Daraus ist zu ersehen, daß bei der gewählten Trennwand mit einem $R'_w = 50$ dB und den verhältnismäßig hohen R_{Lw} -Werten von 60, 56, 55 und 51 dB der flankierenden Bauteile das rechnerisch ermittelte Schalldämm-Maß zwischen den Räumen nur $R'_w = 46$ dB beträgt. Dieses Beispiel aus der Praxis verdeutlicht, daß die Festlegung der an die einzelnen Bauteile zu stellenden Anforderungen nur nach einer vorherigen rechnerischen Abschätzung des unter Berücksichtigung der "Flankenübertragung" zwischen den Räumen erreichbaren Schalldämm-Maßes R'_w möglich ist. Voraussetzung für die Erzielung des gewünschten bzw. geforderten Mindest-Schallschutzes ist daher ein rechnerischer Nachweis unter Berücksichtigung sämtlicher Übertragungswege.

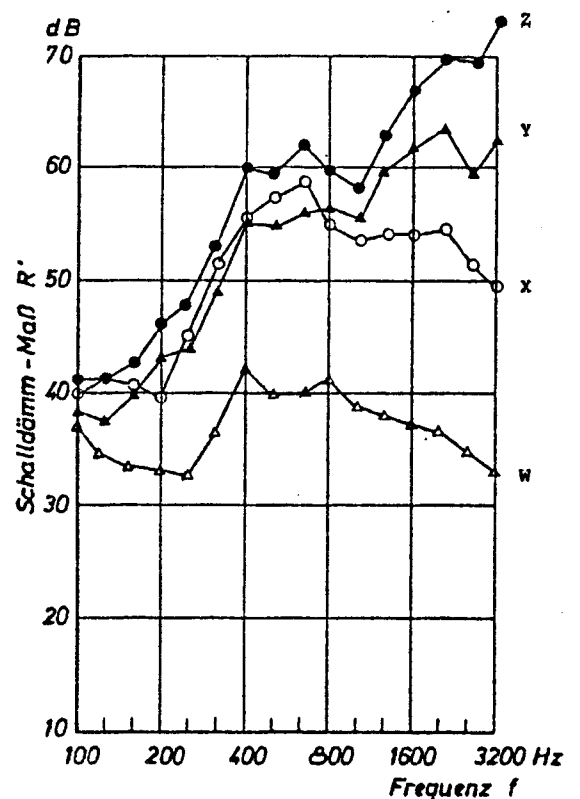
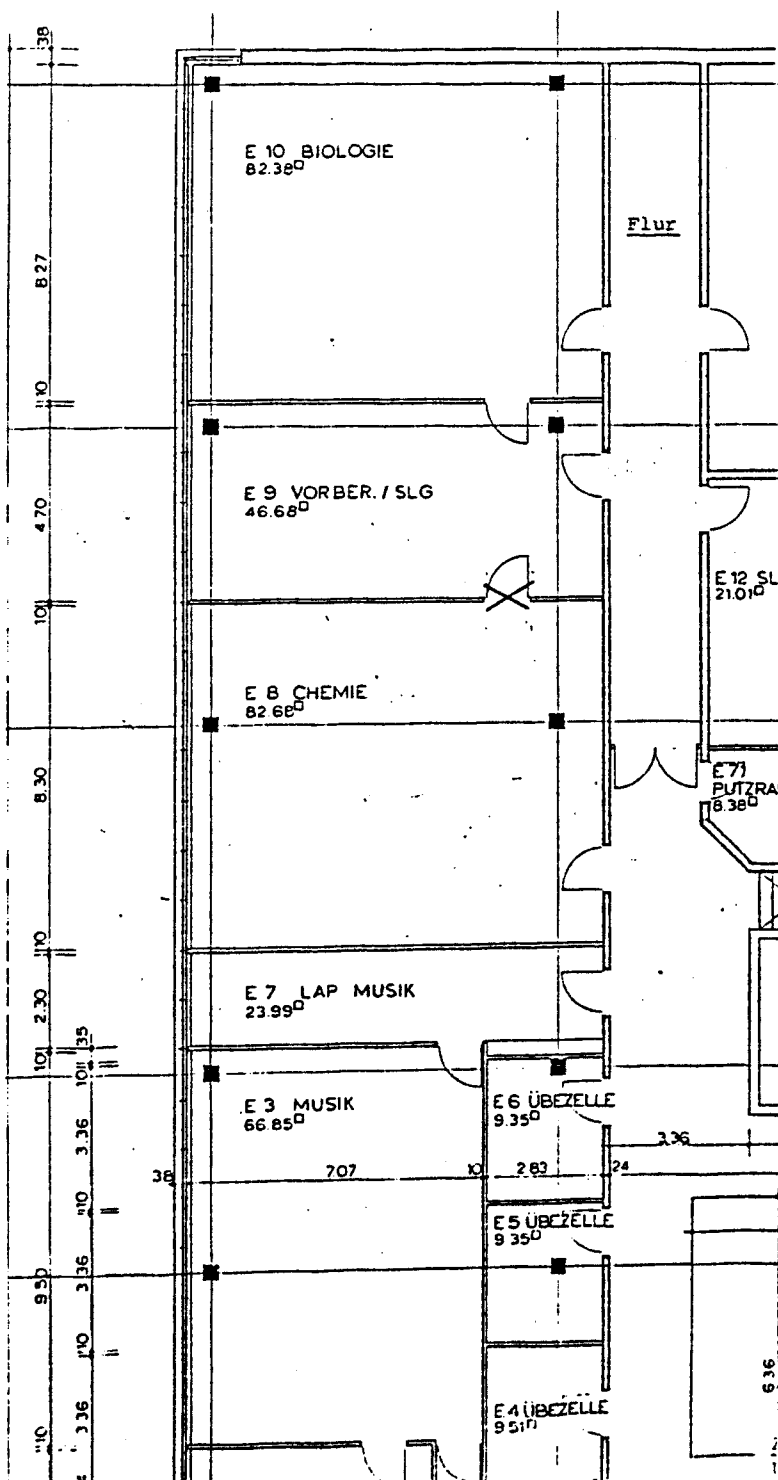
9.3 Erfüllung der Anforderungen in der Praxis

Die Erfüllung der Anforderungen ist in der Praxis nur zu erwarten, wenn

- a - bei einer Forderung nach einer variablen und flexiblen Nutzung des Raumangebots in Schulen, die nur bei Verwendung von leichten elementierten Bauteilen für den Ausbau erreichbar ist, praktisch erfüllbare Anforderungen - wie in Abschnitt 9.1 vorgeschlagen - festgelegt werden,
- b - durch rechnerischen Nachweis - wie in Abschnitt 9.2 empfohlen - sichergestellt wird, daß bei den zwischen den Räumen zu berücksichtigenden Übertragungswegen das berechnete Schalldämm-Maß insgesamt erreicht wird und möglichst etwa 2 dB höher liegt als der geforderte Wert,
- c - nur Konstruktionen mit detaillierter Angabe der Ausführung der Stoßstellen und der Anschlüsse eingebaut werden, die in der Praxis erprobt worden sind und deren schalldichter Einbau auch bei geringer Unebenheit der Begrenzungsflächen möglich ist,
- d - die Dichtigkeit der Stoßstellen zwischen den Bauteilen auch bei geringer nachträglicher Verformung bzw. Bewegung der Bauteile (z.B. Durchbiegung der Decken, Verformung der Außenfassaden o.ä.) erhalten bleibt.

Falls für die Herstellung eines zweckentsprechenden Schallschutzes bei unterschiedlicher Nutzung der Unterrichtsräume ein günstigerer als der in Abschnitt 9.1 vorgeschlagene Mindest-Schallschutz notwendig ist, so kann dieser z.B. bei sonst gleicher Bauausführung durch Anordnung eines Vorbereitungsraumes zwischen den Unterrichtsräumen erreicht werden.

Beispiel: In der Schule II (s. Abschnitt 4.1) wurde zwischen nebeneinander liegenden Unterrichtsräumen im Mittel ein Schalldämm-Maß von $R'_w = 41$ dB (s. Bild 4) gemessen. Bei Unterrichtsräumen mit dazwischenliegendem Vorbereitungsraum sind in derselben Schule beim gleichen Aufbau der Bauteile die in Bild 18 angegebenen Schalldämm-Maße ermittelt worden.



- Z —●— E 3/E 8 : Tür zwischen E 3 und E 7 geschlossen $R'_w = 60$ dB
- Y —▲— E 3/E 8 : Tür zwischen E 3 und E 7 offen $R'_w = 56$ dB
- X —○— E 8/E 10 : Türen von E 8 nach E 9 und von E 10 nach E 9 geschlossen $R'_w = 53$ dB
- W —□— E 8/E 10 : Tür zwischen E 10 und E 9 offen $R'_w = 38$ dB

Bild 18: Erhöhung des Schallschutzes zwischen Unterrichtsräumen durch günstige Grundrißanordnung

Aus Bild 18 geht hervor, daß der Vorbereitungsraum E 9 jeweils mit einer Tür zu den angrenzenden Unterrichtsräumen E 8 und E 10 versehen ist. Eine derartige Ausführung ist schalltechnisch ungünstig (s. Kurven X und W). Die Anordnung eines Vorbereitungsraumes zwischen zwei Unterrichtsräumen bietet schalltechnisch nur dann einen großen Vorteil, wenn dieser - wie E 7 - nur einem Unterrichtsraum zugeordnet wird und vom Flur aus zugänglich ist (s. Kurven Y und Z). Durch eine günstige Grundrißanordnung läßt sich also erforderlichenfalls eine hohe Schalldämmung zwischen besonderen Unterrichtsräumen sicher erreichen, ohne daß an das gesamte Bausystem höhere Anforderungen gestellt werden müßten als unter a bzw. in Abschnitt 9.1 vorgeschlagen.

Als Ausgleich für die bei Prüfung im Prüfstand bei gleicher Konstruktion auftretenden Unterschiede (s. Abschnitt 9.1) wird unter b) empfohlen, daß beim rechnerischen Nachweis ein um 2 dB höheres Schalldämm-Maß als die geforderten bzw. gewünschten R'_w -Werte zugrunde gelegt wird. Als Übertragungswege sind aber bei der Berechnung nicht nur die Übertragung über die einzelnen flankierenden Bauteile ("Flankenübertragung") zu berücksichtigen, sondern z.B. auch die Übertragung über Beleuchtungskörper, Lüftungs- und Kabelkanäle o.ä.

Zu c und d kann aus Erfahrung berichtet werden, daß bisher in neuerrichteten Schulen bei keiner im angetroffenen Zustand geprüften versetzbaren Wand ein dichter Anschluß an die Begrenzungsflächen vorhanden war. Dieser mußte meistens nachträglich durch Verkitten mit dauerelastischem Kitt hergestellt werden. Über die Wirkung verschiedener Dichtungen wurde bereits in [19] berichtet. Da in der Praxis z.B. auch bei sorgfältiger Ausführung von Zementestrichen die Fußbodenoberfläche Vertiefungen bzw. Erhebungen von mindestens 2 mm aufweist, wird erfahrungsgemäß durch keine offenporige oder filzartige Dichtung ein schalldichter Anschluß erreicht. Nur dauerelastischer Kitt ist z.B. beim unterschiedlichen Abstand zwischen den steifen U-Metallprofilen oder Wandelementen und dem Estrich in der Lage, mit der erforderlichen Sicherheit einen dichten Anschluß mit gleichhoher schalldämmender Wirkung an jeder Stelle herzustellen. In ausgeführten Bauten kann der geforderte bzw. gewünschte Mindest-Schallschutz nur dann erreicht werden, wenn - ähnlich wie bei Türen - jeder Trennwandkonstruktion eine entsprechend wirksame Anschlußdichtung unter Berücksichtigung des Zustandes der Begrenzungsflächen zugeordnet wird.

10. Zusammenfassung und Folgerungen

In neun neuerrichteten Schulen wurden insgesamt 34 Prüfungen der Luftschalldämmung nach DIN 52 210 zwischen Unterrichtsräumen durchgeführt, und zwar

a - in vier Schulen 16 Prüfungen beim Einbau von "festen Innenwänden"

b - in vier Schulen 9 Prüfungen beim Einbau von "versetzbaren Innenwänden"

c - in drei Schulen 9 Prüfungen beim Einbau von "beweglichen Innenwänden"

Nur bei einer Prüfung wurde ein nach DIN 4109 [5, 6] ausreichender Mindest-Schallschutz festgestellt. Im Mittel lagen die zu a und b ermittelten R'_w - Werte um 10 dB und die zu c um 17 dB niedriger als die bei gleichen Trennwandkonstruktionen in Prüfständen mit bauähnlicher Flankenübertragung nach DIN 52 210 festgestellten. Die Verminderung des Schallschutzes zwischen den Unterrichtsräumen wird vorwiegend durch einen undichten Einbau der Trennwände verursacht, der teilweise auf die bei Prüfständen und Bauten unterschiedlichen Einbaubedingungen zurückzuführen ist.

Bei der Planung werden häufig flankierende Bauteile gewählt, die ein zu geringes Längsdämm-Maß R'_{Lw} aufweisen. Ferner werden im allgemeinen Prüfstand-ergebnisse zugrunde gelegt, die bei abweichender (günstigerer) Ausführung des Anschlusses der Prüfobjekte an die begrenzenden Bauteile ermittelt worden sind. Daher werden in diesem Bericht ausführlich der Einfluß der "Flankenübertragung" beschrieben und durch einen rechnerischen Nachweis ergänzt sowie einige Beispiele angeführt, aus denen der große Einfluß der Randbedingungen hervorgeht. Ferner wird dargelegt, daß beim massiven Ausbau die zwischen zwei Räumen erreichbare Schalldämmung normalerweise durch vier Übertragungswege beeinflusst wird, dagegen können beim leichten Geschoßausbau 12 Übertragungswege vorliegen, die getrennt voneinander betrachtet werden müssen.

Es wurde festgestellt, daß es der Bauwirtschaft im Rahmen der Standardisierung und Rationalisierung im Schulbau in den letzten 10 Jahren nicht gelungen ist, Bausysteme zu entwickeln, die beim Einbau von elementierten Bauteilen die schalltechnischen Anforderungen nach DIN 4109 erfüllen. Daher müssen die vom Arbeitskreis "Rationalisierung im Schulbau" herausgegebenen Hinweise und Empfehlungen neu bearbeitet werden. Da die derzeitigen Anforderungen an den Mindest-Schallschutz beim leichten Geschoßausbau in neuerrichteten Schulen

teilweise bei weitem nicht erreicht werden und ohne wesentliche Beeinträchtigung des Schulunterrichts herabgesetzt werden können, wird eine neue Festlegung auf einen in der Praxis bei der Forderung nach Variabilität und Flexibilität noch wirtschaftlich erreichbaren Mindest-Schallschutz vorgeschlagen.

Unter Berücksichtigung dieser und der in den vergangenen 10 Jahren durchgeführten Untersuchungen ergeben sich die nachstehenden Folgerungen:

- a - Die Anforderungen an den Mindest-Schallschutz zwischen den Unterrichtsräumen sollten herabgesetzt werden, damit dieser auch durch die Bauwirtschaft in der Praxis erfüllt werden kann.
- b - In den geplanten Schulbauten sollte nur für Teilbereiche der Einbau von versetzbaren oder beweglichen Trennwänden gefordert werden, da erfahrungsgemäß selten räumliche Änderungen vorgenommen werden und es dann wesentlich wirtschaftlicher ist, leichte zerstörbare Wände auszubauen und neu zu errichten.
- c - Bei jeder Planung sind die Durchführung eines rechnerischen Nachweises und die Festlegung von Mindestanforderungen an die Trennwände sowie an die flankierenden Bauteile notwendig.
- d - Für den rechnerischen Nachweis sind nur Prüfergebnisse von Konstruktionen zu verwenden, die sowohl im Prüfstand (Eignungsprüfung Teil I) als auch in ausgeführten Bauten (Eignungsprüfung Teil II) nach DIN 52 210 geprüft worden sind.
- e - In DIN 4109 Teil 7 und Teil 8 dürfen nur in der Praxis erprobte Konstruktionen aufgenommen werden, wobei eine genaue Beschreibung der Materialien und sämtlicher Anschlüsse an die Begrenzungsflächen erforderlich ist. Dann wird eine Vielzahl von "Traumergebnissen" wegfallen, die vorwiegend für die Fehleinschätzung des in der Praxis erreichbaren Schallschutzes verantwortlich sind.

Abschließend wird festgestellt, daß seitens der Bauwirtschaft zwar immer günstigere Prüfstandwerte vorgelegt werden, jedoch keine Nachweise darüber, daß diese Werte auch in der Praxis erreichbar sind. Wie bereits ausgeführt, wurden und werden bei Nachprüfungen in Schulen im angetroffenen Zustand zwi-

schen den Unterrichtsräumen im allgemeinen wesentlich ungünstigere Schalldämm-Maße R'_w festgestellt als die, die anhand der Prüfstandwerte erwartet werden konnten. Durch viele leichte Konstruktionen, an denen im Prüfstand hohe Schalldämm-Maße festgestellt worden sind, werden unnötig hohe Kosten verursacht, da in fertiggestellten Bauten ein entsprechender Nutzen nicht erzielt wird. Eine schnelle Änderung des Zustandes ist schon aus wirtschaftlichen Gründen dringend erforderlich.

L i t e r a t u r

- 1 DIN 4109 Blatt 1 bis 4, Ausgabe September 1962, und Blatt 5, Ausgabe April 1963, "Schallschutz im Hochbau"
- 2 M. Amelang, K. Gösele, H.P. Klein, P. Lutz und J. Straube:
"Schallschutz zwischen Unterrichtsräumen", Deutsches Architektenblatt, Heft 11/74
- 3 R. Palazy: "Schallschutz in Schulbauten mit versetzbaren Wänden",
boden - wand - decke, Heft 10/76
- 4 "Rationalisierung im Schulbau", Hinweise und Empfehlungen 77,
herausgegeben vom Nds. Kultusminister, bearbeitet vom Arbeitskreis
"Rationalisierung im Schulbau" - März 1977
- 5 Ergänzung zu DIN 4109 Blatt 2, "Schallschutz bei Schulen",
Nds. MBl. Nr. 22/1976, S. 979
- 6 DIN 4109 Teil 2, Entwurf Februar 1979 "Schallschutz im Hochbau: Luft-
und Trittschalldämmung in Gebäuden, Anforderungen und Nachweise, Hin-
weise für Planung und Ausführung"
- 7 "Schulbaurichtlinien des Landes Niedersachsen für die allgemein-
bildenden Schulen", Erlaß des Nds. KultM vom 03.10.1969
- 8 DIN 18 031, Ausgabe Oktober 1963, "Hygiene im Schulbau: Leitsätze"
- 9 DIN 1946 Blatt 5, Ausgabe August 1967, "Lüftungstechnische Anlagen:
Lüftung von Schulen"
- 10 Richtlinien für bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen Außenlärm, Ergän-
zende Bestimmungen zu DIN 4109, "Schallschutz im Hochbau" (s. [1]),
Fassung September 1975
- 11 DIN 18 032 Teil 1, Ausgabe Juli 1975, "Hallen für Turnen und Spiele"
- 12 DIN 18 041, Ausgabe Oktober 1968, "Hörsamkeit in kleinen bis mittel-
großen Räumen"

- 13 Norm-Vorlage von DIN 4109 Teil 7 vom Februar 1980, "Schallschutz im Hochbau: Luft- und Trittschallschutz in Gebäuden, Entwurfsgrundlagen für Skelettbauten"
- 14 Norm-Vorlage von DIN 4109 Teil 8 vom Februar 1980, "Schallschutz im Hochbau: Luft- und Trittschallschutz in Gebäuden, Entwurfsgrundlagen für Holzhäuser"
- 15 Norm-Vorlage von DIN 18 031 vom Mai 1980, "Umgebungsbedingungen in Schulräumen, Grundlagen für die Bewertung"
- 16 DIN 52 217, Ausgabe September 1971 "Flankenübertragung"
- 17 A. Eisenberg: "Untersuchungen über die Schalldämmung zwischen benachbarten Räumen mit durchlaufendem schwimmenden Estrich", Wärme - Kälte - Schall, Heft 2, 1966
- 18 DIN 52 210 Teil 1, 3 und 4, Ausgabe Juli 1975, "Luft- und Trittschalldämmung"
- 19 K. Gösele: "Schalldämmung von Montagewänden", Bundesbaublatt 1972, Heft 5, S. 236
- 20 K. Gösele: "Schall-Längsleitung in Bauten mit leichten Trennwänden" (BS 17/75), vom 10.09.1975, nicht veröffentlicht
- 21 F. Mechel und J. Royar: "Das Absorberschott für abgehängte Decken", wksb, Heft 4, 1977
- 22 F. Mechel: "Die Schall-Längsdämmung abgehängter Decken", wksb, Heft 3, 1976